

Technologies clés 2005 (septembre 2000)

Comment passer de la science au marché par la technologie ?

Cinq ans après la première édition des << 100 technologies clés pour l'industrie française à l'horizon 2000 >>, la direction générale de l'Industrie, des technologies de l'information et des postes a souhaité une réactualisation de l'ouvrage qui vise à aider les entreprises françaises à définir les technologies essentielles qu'il leur faut développer et maîtriser en interne.

Plus de 100 experts, issus du monde de l'industrie et de la recherche, ont participé à cet ambitieux projet. Ce livre présente les résultats de leurs travaux avec, notamment pour chacun des huit groupes thématiques, une présentation du contexte.

Les 119 technologies clés identifiées font l'objet d'une fiche de présentation dont l'originalité, par rapport à la précédente édition, est de proposer une grille de caractérisation. Cette grille, donne notamment des exemples d'application de secteur ou d'usage, indique les domaines scientifiques concernés et souligne des points technologiques critiques.

Pour les professionnels (dans les entreprises, les centres de recherches, le capital-risque...) concernés par l'évolution technologique mais aussi pour le lecteur << curieux >>, cet ouvrage constitue un outil unique afin de comprendre et d'anticiper les changements techniques de demain.Il permet aussi de contribuer aux débats sur les enjeux et les objectifs d'une politique de la recherche et de la technologie.

265 F

40,40 Euros

Direction générale de l'Industrie, des Technologies de l'information et des Postes.

Format (16 X 24) . 362 pages.

Edition octobre 2000

Bon de commande

Je commande l'ouvrage suivant :

Technologies clés 2005 (septembre 2000) 265 F

ref. 00190 A060 | Net

Je joins mon réglement (par chèque postal ou bancaire) de **265 F**
à l'ordre de **Monsieur le Régisseur des Recettes**.

Nom : Prénom :

Organisme :

Société :

Adresse :

Code postal : Ville :

Tél. : Fax :

Date : Signature

Aidez-nous à mieux vous connaître en indiquant votre :

Fonction :

Code NAF :

Code SIREN / SIRET :

Nbre de salariés :

○ < 20 ○ 20-49 ○ 50-99 ○ 100-199 ○ 200-499 ○ > 500

Je recevrai mon ouvrage, accompagné d'une facture, deux semaines au plus tard après réception du bon de

commande.

Imprimer et expédier à :

Secrétariat d'Etat à l'Industrie
Dicom-Editions
139, rue de Bercy
télédoc 536
75012 Paris
Tél: 01 53 18 69 00 / Fax: 01 53 18 38 25

Retour

SOMMAIRE

Préface du Ministre
Avant-propos
Avertissement
Sommaire

Première partie : Introduction à l'étude

Deuxième partie : le contexte par grands domaines

Troisième partie: Fiches de synthèses

Quatrième partie :

- **Conclusions**
- **Recommandations du comité de pilotage**
- **Annexes et bibliographie**
- **Composition du comité de pilotage**
- **Composition des groupes de travail thématiques:**
- **Rappel des TC de l'étude précédente**
- **Thesaurus**

www.cm-intl.com

Ministère de l'Economie, des Finances
et de l'Industrie
Secrétariat d'Etat à l'Industrie
DIGITIP
Service de l'Innovation
OTS

Technologies clés 2005

Rapport final

Octobre 2000

CM International

avec la collaboration de :
- Cité des Sciences / Fondation Villette Entreprises
- Crédoc
- Innovation 128
- MCN Conseil
- Central Cast / Net2One

Convention d'étude n° 99 1 7801

Préface du Ministre

Comme tout être vivant la technologie évolue: de nouvelles technologies apparaissent tandis que d'autres déclinent. Dans un contexte d'échanges accélérés à l'échelle de la planète, nos économies sont toujours plus façonnées par ces évolutions, source d'opportunités pour ceux qui s'y préparent, ou à l'origine de déconvenues pour ceux qui ne les anticiperaient pas.

Aussi, les grandes entreprises ne ménagent-elles pas leurs efforts de recherche développement pour préparer leurs succès de demain. Des PMI réactives tirent leur épingle du jeu en valorisant telle ou telle niche novatrice. Et une génération de « nouveaux entrepreneurs » se lance dans des activités innovantes à fort potentiel.

L'audace, j'en ai la conviction, constitue le meilleur ferment de la prospérité de demain : il est de la responsabilité du Ministère en charge de l'Industrie de la nourrir. C'est ainsi que, sous l'impulsion du Premier Ministre Lionel Jospin, les politiques de soutien à l'innovation dans les entreprises ont été profondément redéfinies et amplifiées. De même, le capital risque a connu un essor de grande ampleur ces dernières années.

Et c'est dans cet esprit que j'ai décidé d'engager une nouvelle réflexion stratégique sur les enjeux technologiques clefs pour nos entreprises à l'horizon 2005 . Sous l'impulsion de Jean Jacquin, ces travaux ont pris appui sur l'ouvrage de référence « Les 100 technologies clés pour l'industrie française » paru en 1995. Une centaine d'experts ont travaillé au sein de 8 groupes thématiques, et plus de 600 personnes ont apporté leur concours à cette œuvre collégiale. Qu'ils en soient ici tous remerciés chaleureusement.

L'intérêt majeur de ces travaux réside dans l'éclairage nouveau qu'ils apportent sur la dynamique du développement technologique. J'en retire pour ma part trois leçons principales .

Le développement technologique procède d'une alchimie sans cesse rénovée, associant les progrès les plus récents de la science, le choix des technologies élémentaires, les facteurs humains et sociaux ainsi que les stratégies des acteurs économiques. La performance du développement technologique est dans une grande mesure déterminée par la connaissance et la maîtrise de ces interactions.
Les technologies de l'information et de la communication y sont dorénavant omniprésentes, et les biotechnologies s'annoncent comme porteuses de développement considérables. Le facteur temps y est fondamental mais ne s'exprime pas de la même manière selon les domaines technologiques. La notion de « verrou technologique » s'estompe au profit de la notion « d'architecture de technologies et de systèmes ».
Un nouveau champ émerge : celui des "technologies molles", qui portent la nouvelle économie du savoir et dans lesquelles les facteurs humains retrouvent la première place. En d'autres termes, la seule maîtrise scientifique d'une technologie n'est plus suffisante. Les méthodes de conception, d'organisation, de marketing, de gestion des connaissances, … sont aussi importantes dans le succès d'une innovation que la technologie proprement dite. Ce sont des approches pluridisciplinaires, dans lesquelles les sciences sociales tiendront une place grandissante, qu'il nous faut promouvoir.

Par ailleurs, dans un environnement géopolitique mondialisé et sans cesse en mouvement, il n'y a plus, comme par le passé, de "fatalisme technologique". Les positions industrielles et commerciales ne sont plus aussi figées dans le temps. On peut avoir échoué sur le développement d'une technologie et redevenir leader à l'étape suivante. C'est un peu ce que l'Europe fait vis à vis d'Internet, par exemple en faisant le pari de l'UMTS. Cette situation nouvelle peut paraître rassurante : paradoxalement, elle

souligne l'importance pour nous tous, acteurs économiques et instances publiques, de prendre résolument les risques indispensables mais maîtrisés pour construire l'avenir.

Ce rapport fait enfin ressortir des « déperditions » entre certaines performances scientifiques de notre recherche et les positions économiques réelles de notre économie. Il nous appartient à tous d'infléchir nos priorités pour atténuer ces écarts, en prenant soin lorsque cela est possible de construire des solutions de dimension européenne, c'est à dire à l'échelle des enjeux générés par la mondialisation des échanges .

Désormais, ces nouvelles perspectives ont vocation à servir de vigie et de « pierre angulaire dynamique » dans la conduite de nos stratégies industrielles : au niveau national, en intégrant les nouveaux champs technologiques dans nos priorités ; au niveau régional également en rassemblant à travers notamment les contrats de plan Etat Région au mieux les efforts de tous les partenaires concernés pour renforcer les potentiels les plus pertinents et favoriser l'appropriation la plus large par les tissus industriels locaux.

Avec cet ouvrage, nous disposons d'un outil d'aide à la décision que je veux mettre à la disposition du plus large public car la technologie est l'affaire de tous. Je forme le vœu que ce travail puisse préparer au mieux notre société aux défis du monde de demain.

Christian PIERRET

Avant Propos

« Technologies clés 2005 » s'inscrit naturellement dans la continuité de l'étude précédente publiée en 1995.
Continuité signifie que la présentation de ce travail est très sensiblement la même afin de faciliter la comparaison et la mise en lumière des différences d'appréciation sur l'intérêt des technologies retenues, à cinq ans de distance. Bien entendu, cette continuité n'exclut pas un certain nombre de différences essentiellement dues à la modification du contexte pendant cette période. Trois facteurs particuliers ont eu une incidence sur la conduite de cette étude.

Les cinq dernières années depuis la parution de l'étude précédente ont été marquées par des changements considérables dans le monde, en Europe et particulièrement en France.
La mondialisation dont on parlait depuis déjà longtemps est devenue une réalité dont nous ne percevons sans doute pas encore tous les effets, mais qui a déjà profondément bouleversé nos économies et nos mentalités. Parmi les changements les plus marqués et qu'il a fallu intégrer dans cette étude, il y a d'abord les nouvelles opportunités – ou menaces selon que l'on est du bon ou du mauvais côté – liées aux immenses marchés issus de la disparition de beaucoup de segmentations géographiques et à la déréglementation.
Une conséquence directe de cette croissance des enjeux économiques est le raccourcissement des délais entre innovation et commercialisation : dans bien des cas aujourd'hui, les positions dominantes, dont on connaît l'importance souvent durablement décisive, se prennent rapidement ou pas du tout. Ceci signifie que les risques d'échec sont d'autant plus grands que la course pour la première place se fait dans un environnement très concurrentiel et à un rythme soutenu propice aux faux pas. Cela signifie aussi que la réussite ne peut être espérée qu'au prix d'un dynamisme accru et de moyens – humains autant que financiers – à la hauteur des enjeux. Très concrètement, il n'y a plus aucune raison de penser qu'un projet technologique peut réussir dans notre pays s'il n'est pas soutenu par des moyens comparables à ceux dont il bénéficie dans d'autres pays et notamment outre-atlantique. Ceci impose naturellement des choix délicats, voire douloureux.

Comme pour l'étude précédente, un double filtre a été appliqué à l'ensemble des technologies listées dans une première phase – plus de 600 – afin de n'en retenir que 110 jugées prioritaires. Le premier filtre était basé sur les attraits de la technologie, comme indiqué plus haut, et le deuxième sur les atouts disponibles en France. L'accélération de tous les phénomènes accompagnant le développement de nouvelles technologies a conduit à traiter cette question des atouts avec une grande prudence, car il nous a semblé que les positions industrielles et commerciales notamment, qu'elles soient favorables ou non, avaient tendance à devenir beaucoup moins figées que par le passé. Ceci est lié tant à l'apparition de ruptures technologiques qui permettent la conquête de marchés que l'on jugeait définitivement attribués, qu'à l'émergence de nouvelles mentalités en matière d'entreprenariat. Cela est lié aussi à la capacité des grandes entreprises à en acquérir d'autres dont la technologie les intéresse, grâce à une veille active et des moyens financiers restaurés.

Conséquence logique de ce qui précède, l'importance de la demande des marchés par rapport à l'offre de technologie, déjà sensible en 1995, a été jugée encore plus décisive aujourd'hui.
Cela se traduit par un poids important des aspects économiques dans les critères d'attraits appliqués en vue de sélectionner les technologies : volume des marchés concernés, incidence sur la balance commerciale et emplois induits, même si, bien entendu, ces aspects économiques ne sont pas les seuls à compter : en fait les progrès économiques s'accompagnent de façon assez logique d'exigences croissantes en matière de bien-être, de santé et de qualité de l'environnement. Exigences qui peuvent être vécues comme des contraintes ou comme de nouvelles opportunités commerciales, mais qui, dans presque tous les cas, induisent de nouvelles technologies spécifiques.

Ce poids important des facteurs économiques dans les critères de sélection se traduit aussi dans la présentation des fiches synthétiques des technologies retenues : chacune est replacée, en aval, dans le contexte de la fonction remplie et des marchés visés. Les domaines technologiques ou scientifiques qu'il est nécessaire de maîtriser, en amont, sont par ailleurs clairement explicités sur ces mêmes fiches.

Enfin, et pour se limiter à ce qui nous a paru essentiel pour cette étude, la mondialisation a eu pour effet d'accélérer la diffusion de certaines technologies que l'on considérait jusqu'ici stratégiques car, même si elles ne généraient directement qu'une activité modérée, elles conditionnaient l'accès à d'autres économiquement plus importantes. Il va de soi que la diffusion plus ouverte de ces technologies que l'on considérait comme critiques est susceptible de faciliter les choix en permettant une concentration des efforts sur celles qui sont les plus importantes d'un point de vue économique. Bien entendu, ce point de vue ne peut se justifier que si l'on pense que le contexte de relative stabilité politique, voire militaire, ne sera pas remis en question dans le monde occidental, au sens large, pour l'avenir prévisible.

L'étude précédente avait bien différencié les technologies qui pouvaient utilement faire l'objet d'une attention particulière de celles qui avaient toutes chances d'être développées ou améliorées sans incitation ou intervention publiques, notamment celles qui sont au cœur des métiers des grands acteurs dont les capacités d'innovation et les moyens sont importants, et qui relèvent donc d'une « logique de développement autonome », pour reprendre la terminologie de 1995.
Pour cette nouvelle étude, le parti a été pris de parler peu de certaines technologies qui sont assurées de rester dominantes et d'être améliorées en continu par les acteurs qui les mobilisent. Cela ne signifie pas, bien entendu, que leur poids économique ou leur importance stratégique ont été sous-estimées, comme du reste cela est rappelé dans les chapitres de mise en contexte des travaux des différents groupes thématiques.

Les changements du monde économique font tous les jours les grands titres de l'actualité et occultent un peu ceux des mentalités. Pourtant, la France, en particulier, est en train de vivre une véritable révolution dans ce domaine, marquée par un extraordinaire développement de l'initiative économique. Bien entendu, ces changements étaient en préparation depuis un certain temps et de nombreux facteurs ont joué un rôle décisif : facteurs législatifs, éducatifs, financiers,… mais l'ampleur du phénomène a surpris même ceux qui travaillaient à son éclosion.

Le rythme des créations d'entreprises, dans tous les domaines et non pas seulement dans ceux qui sont à la mode, est impressionnant. Les financements sont devenus plus faciles grâce à l'apparition d'un grand nombre d'investisseurs spécialisés. Les marchés financiers indispensables au refinancement des entreprises technologiques en croissance – Nouveau marché ou Easdaq – sont apparus tout récemment et approchent de la maturité, mais plus important encore, un nombre considérable de jeunes entrepreneurs compétents et décidés dont on disait, il y a peu, qu'ils préféraient travailler ailleurs, se lancent dans l'aventure en France. Les grandes entreprises, après une période souvent marquée par un recentrage sur leurs métiers de base afin d'améliorer leur rentabilité, recommencent à chercher de nouveaux axes de développement soit en utilisant leur recherche interne soit, de plus en plus, par acquisition de savoir ou d'activité à l'extérieur.

La conjugaison de cet élan et de l'appui de la puissance publique sur des objectifs bien ciblés doit conduire à des changements importants pour notre pays. Nous espérons que cette étude favorisera cette convergence.
Restons toutefois modestes : un tel travail de recensement et de recommandations est une œuvre pleine d'aléas qui reflète nécessairement le point de vue d'un groupe d'experts en nombre limité, même si la méthodologie employée visait à étendre la collecte d'informations à un deuxième cercle de spécialistes. Les experts ont été choisis avec le plus grand soin en veillant à ce que le monde de l'entreprise et celui de la recherche soient représentés, et aussi en privilégiant un peu le tempérament visionnaire, puisque c'est à l'avenir que nous nous intéressions. Il va de soi que si les visionnaires osent se projeter, les résultats de leurs efforts de prospective ne peuvent être pris pour vérité absolue. N'oublions pas que les exemples fourmillent de décisions prises par des décisionnaires volontaristes

contre l'avis compétent d'experts ; en l'espèce, la clé de la réussite est au moins autant dans la qualité de mise en œuvre des décisions que dans la pertinence de la stratégie.

Ce travail important constitue un éclairage particulier de l'évolution technologique pour les quelques années à venir. Sa présentation, dans laquelle les marchés et les domaines scientifiques encadrent les technologies retenues, en fait un outil qui devrait permettre des utilisations ultérieures adaptables en fonction des différents objectifs. Nous espérons que cette contribution sera utile et permettra de faciliter la réflexion sur les orientations majeures du développement technologique de notre pays.

Jean JACQUIN
Président du Comité de Pilotage

Avertissement

La réflexion Technologies clés 2005 visait à actualiser l'étude parue en juillet 1995 et qui avait pour titre : « Les 100 technologies clés pour l'industrie française à l'horizon 2000 ».

Tout comme pour l'exercice précédent, il s'agissait de répondre à trois questions essentielles :

- quelles sont les technologies importantes pour l'industrie française ?
- quelle est la position française sur ces technologies ?
- quelles doivent être, en conséquence, les priorités technologiques ?

L'horizon de temps retenu pour l'exercice aurait idéalement du être variable car les technologies ont chacune des cycles de vie propres. Les durées de phase d'émergence, de développement, de maturité puis d'obsolescence varient très fortement d'une technologie à l'autre et d'une phase à l'autre. Pourtant il fallait bien convenir d'un horizon commun à l'ensemble de l'exercice, pour fixer les idées. L'échéance de 2005, pour adopter une perspective à 5 ans, a donc été retenue mais ne saurait constituer une référence précise et rigide.

Les Technologies clés 2005 constituent le résultat de cet exercice et correspondent aux technologies qui ont été retenues comme prioritaires pour la France.

Deux séries de préoccupations ont été prises en compte :
aider les entreprises françaises à définir avec discernement les technologies essentielles qu'il leur faut impérativement développer et maîtriser. Pour les petites et moyennes entreprises, des analyses identifiant les technologies clés sont d'autant plus indispensables qu'elles n'ont pas les moyens d'acquérir une vision globale alors même que l'interconnexion croissante des technologies les sollicite sur un front plus large ;
aider les pouvoirs publics à mieux définir et mettre en œuvre une politique technologique nationale et européenne.

Il appartient à chacun, selon ses préoccupations, de s'approprier les résultats de ce travail pour intégrer à ses propres logiques d'action ceux des éléments pertinents qui auraient pu être présentés ici.

Sommaire

Préface du Ministre

Avant Propos

Avertissement

Première partie : Introduction

- Dynamique des technologies, Innovation et Prospective
- Les grandes tendances de la demande
- La nouvelle économie : de quoi parle-t-on ?
- « Technologies clés 2005 » face aux autres exercices de prospective technologique
- Caractérisation des technologies clés retenues
- Méthodologie de l'étude

Deuxième partie : Le contexte par grands domaines

- Technologies de l'Information et Communication
- Matériaux-Chimie
- Construction-Infrastructure
- Energie-Environnement
- Technologies du Vivant-Santé-Agroalimentaire
- Transport-Aéronautique
- Biens et services de consommation
- Technologies et Méthodes de Conception-Gestion-Production

Troisième partie : Présentation des Technologies clés 2005

- Liste des Technologies clés 2005
- Fiches de synthèse

Conclusions

Annexes

- Bibliographie
- Liste des contributeurs au projet : Comité de Pilotage, Groupes de travail
- Rappel de la liste des « Technologies clés 2000 »
- Thésaurus

I - Introduction

I.1 - Dynamique des technologies, Innovation et Prospective

I.2 – Les grandes tendances de la demande

I.3 - La nouvelle économie : de quoi parle-t-on ?

I.4 - « Technologies clés 2005 » face aux autres exercices de prospective technologique

I.5 – Caractérisation des technologies clés retenues

I.6 – Méthodologie de l'étude

I.1 - Dynamique des technologies, Innovation et Prospective

La technologie est devenue au cours du XXème siècle un des ressorts essentiels du développement de nos sociétés. Depuis longtemps déjà, l'innovation et l'évolution des techniques ont affecté la vie des entreprises. La prise de conscience des enjeux du changement technique et de leurs conséquences sur la vie des organisations et sur la dynamique des marchés remonte en fait aux origines du développement industriel. Mais ce n'est que dans les dernières décennies que la technologie a progressivement occupé le devant de la scène. L'ingénieur est devenu un acteur de premier plan de l'économique et du social, à côté du scientifique et du commerçant qui incarnaient jusqu'ici pour le premier la science, pour l'autre la vie des affaires.

Mais quand nous traitons de technologie, de quoi parlons-nous exactement ? Clarifions tout d'abord le vocabulaire.

Quelques éléments de définition

Fille de la science et de la technique, la technologie n'est pourtant réductible ni à la seule application de la découverte scientifique, ni à la seule mise en œuvre de techniques empiriques.

La science relève de la connaissance fondamentale que produit la recherche. Elle vise à repérer, décrire et caractériser puis modéliser les mécanismes de base du monde qui nous entoure, dans ses différentes dimensions physiques, chimiques, biologiques, médicales, sociales,...

La technique relève de savoir-faire construits empiriquement dans l'action, dans l'accumulation d'expériences concrètes, par l'apprentissage, en faisant. En cela, la technique tient du tour de main, de la recette, de la pratique sur un objet ou une opération particulière. Une bonne part de la technique est tacite, au sens de Nonaka, c'est-à-dire qu'elle n'est pas codifiée et donc difficilement reproductible sans expérience préalable : son transfert se fait principalement par compagnonnage.
Cet enracinement de la technique dans le réel et dans l'action constitue à la fois une force et une faiblesse. A l'évidence, la puissance de la technique provient de l'expérimentation et de l'accumulation d'expérience. A l'inverse, faute d'une connaissance suffisante et d'une compréhension des mécanismes qui permettent à la technique de fonctionner, les adaptations, les extensions, les transferts d'application sont difficiles, aléatoires et potentiellement coûteux.

La technologie fait référence à une activité de conception et de production, souvent industrielle mais aussi de service, en réponse à des besoins de marché. La technologie combine pratiques, techniques et connaissances scientifiques, au service de finalités économiques explicites. En cela, la technologie a vocation à être gérée alors même que, par nature, elle relève pour partie de savoir-faire tacites.

Pour sa part, **l'innovation** peut être définie comme la réalisation de la nouveauté. Alors que l'invention se limite à l'idée nouvelle sans réelle confrontation au besoin qu'elle entend satisfaire, l'innovation franchit ce pas considérable qui va de l'idée à sa réalisation concrète et à la satisfaction du besoin. L'innovation, c'est le changement réalisé, qu'il soit limité ou radical, qu'il porte sur le concept de produit, sur le procédé de fabrication ou sur l'organisation,...

Le lien entre innovation et technologie est naturel : la technologie s'améliore en continu au travers d'innovations dites incrémentales qui tracent, chemin faisant, une **trajectoire technologique** en exploitant le potentiel de la veine ainsi explorée, jusqu'à ce qu'une **rupture technologique** (une innovation révolutionnaire) vienne substituer une nouvelle technologie à l'ancienne, en un processus de destruction créatrice décrit par Schumpeter.

Gérer la technologie et l’innovation

En référence à ces définitions, le **management de la technologie** recouvre un ensemble de problématiques auxquelles font face les entreprises : (a) l’observation, l’identification et l’évaluation des technologies alternatives pour remplir une fonction générique sur le marché, (b) le choix des technologies les plus pertinentes parmi celles possibles pour permettre à l’entreprise de tenter de construire un avantage concurrentiel durable, (c) l'accès à la maîtrise des technologies choisies, que ce soit par développement interne, collaboration R&D ou acquisition externe, (d) la gestion corollaire des activités de recherche mais aussi de celles de développement, d'études de faisabilité et plus généralement la gestion de projet, (e) la mise en œuvre et l'amélioration ultérieure en continu des technologies nouvellement intégrées au portefeuille des technologies de l'entreprise, qu'elles relèvent des concepts de produit ou des procédés de fabrication, ainsi que (f) l'abandon de technologies obsolètes, auxquelles de nouvelles technologies sont progressivement ou soudainement substituées. Notons d’ailleurs que certaines de ces problématiques concernent aussi les acteurs publics et en particulier la recherche publique.

Pour Porter, l'importance spécifique de la technologie réside dans sa capacité à influencer le jeu concurrentiel en modifiant à la fois la structure des secteurs concernés et les règles du jeu qui y prévalent. La technologie peut bousculer ou même anéantir les positions établies par les concurrents et créer des opportunités pour de nouveaux entrants. Dans cette vision très schumpétérienne, c'est la principale sinon la seule force capable de modifier de façon significative les parts de marché. Des technologies de substitution et les produits qui leur sont associés peuvent ainsi recomposer des pans entiers de secteurs de l'industrie, comme ce peut être le cas du multimédia face à l'informatique, l'électronique grand public, l'édition et le secteur télévisuel par exemple. En ce sens, l'innovation est une arme concurrentielle pour qui sait y recourir.

Ainsi, les problématiques relatives à la technologie tournent en fait essentiellement autour du thème du changement technologique. Au fond, ce n'est pas tant la technologie qui est ici l'enjeu que la question de son évolution et du passage d'une voie technologique à une autre pour satisfaire un besoin générique sur le marché... C'est là sans doute qu'il faut voir la raison qui fait que le thème de l'innovation a été historiquement lié à celui de la technologie, alors même que les innovations qui affectent les entreprises et leurs clients ne sont pas toutes techniques, loin s’en faut. En effet, l'innovation peut concerner la technologie et alors porter sur le concept de produit ou le procédé de fabrication, mais elle peut aussi concerner l'organisation, que ce soit dans les relations externes de l'entreprise avec ses clients, ses fournisseurs et autres partenaires extérieurs ou dans les processus internes qui routinisent son propre fonctionnement. L’essor du commerce électronique et de la nouvelle économie montrent combien un changement initié par la technologie peut s’avérer au bout du compte être principalement de nature organisationnelle et culturelle. Le **management de l'innovation** recouvre ainsi (a) la promotion de l'innovation pour faciliter la génération d'idées nouvelles, c'est-à-dire leur éclosion et l'écoute des porteurs d'idées, mais aussi l'accompagnement du développement des projets d'innovation, (b) la sélection des innovations pertinentes pour l'entreprise, en gérant un portefeuille de projets financièrement accessibles et dont la faisabilité technique et marketing est escomptée, (c) la gestion des compétences et des moyens requis pour mener à bien les projets, y compris en mobilisant des partenariats externes, et (d) la prise en compte des implications sociales et organisationnelles de l'innovation et donc de l'inertie voire des oppositions que peut susciter tout changement non ou mal préparé.

Ainsi, se préoccuper de technologies pour l’industrie, c’est se poser une série de questions concrètes : quelles technologies maîtriser ? Quels changements technologiques opérer dans le temps face à la concurrence ? Comment accéder aux compétences et en particulier aux savoirs et savoir-faire techniques qui nous font défaut ? Comment renforcer la capacité d'innovation de nos organisations ? Comment et suivant quels critères sélectionner les projets d'innovation ?

En cela, le thème de la technologie et de l'innovation traverse nombre des problématiques d'entreprise, que ce soit la stratégie avec les choix de technologies ou la gestion des compétences dites clés, l'organisation avec les articulations entre innovation et développement organisationnel, le droit avec la protection de l'innovation et la propriété industrielle, mais aussi la gestion de projet ou encore la gestion des opérations et plus particulièrement la gestion de production, y compris de la chaîne logistique.

L'importance de l'évolution technologique ne provient en fait pas seulement de l'intérêt intrinsèque qu'il y a à étudier la dynamique des technologies et les caractéristiques propres des processus d'innovation. L'enjeu véritable est que la technologie concerne le citoyen, le consommateur, l'entreprise, ses partenaires et donc l'ensemble du tissu économique et social : il est alors essentiel de mieux comprendre en quoi et comment la technologie, et plus encore son évolution apparemment inéluctable, conditionnent la vie des entreprises, leur positionnement concurrentiel et leur fonctionnement.

Comprendre la dynamique des technologies

Une description des phénomènes de substitution et d'accumulation technologiques a vu le jour avec les travaux de divers chercheurs qui ont élaboré des modèles des mécanismes de diffusion de l'innovation sur la base de l'observation de l'histoire industrielle de différents secteurs. Résumons brièvement ce qu'il convient d'en retenir :

Sur un marché donné, un besoin à satisfaire par un produit ou un service, c'est-à-dire une fonction générique, est remplie par une certaine technologie devenue dominante. Des alternatives technologiques sont envisagées mais ne sont pas adoptées car elles restent trop futuristes, pas au point ou trop chères. Au fur et à mesure que la technologie dominante s'est établie, le marché s'est segmenté, faisant apparaître des besoins spécifiques sur certains sous-segments, quitte à nécessiter des adaptations de la technologie pour y répondre. Mais cette **technologie dominante** reste la référence et renforce sa position car il n'existe pas à ce moment-là de meilleure façon de satisfaire les besoins du marché. C'est là un lent processus de **maturation**.

Progressivement, parmi les options technologiques alternatives, l'une d'elles émerge comme une **voie novatrice** susceptible d'apporter une **performance supérieure**, des fonctionnalités nouvelles, un coût inférieur ou une combinaison de ces trois formes d'amélioration. Cette nouvelle technologie est souvent le fait de **nouveaux entrants** qui choisissent de s'engager sur une niche de marché pour y satisfaire des besoins spécifiques, peu ou mal traités jusque-là par la technologie dominante. Cette nouvelle technologie n'est pas nécessairement intrinsèquement la meilleure solution technique mais elle a le mérite de faire l'objet d'une première industrialisation et d'une commercialisation qui, par accumulation d'expérience, lui assureront vite d'atteindre un niveau de performance réalisée supérieur à ce que les autres voies technologiques envisageables peuvent laisser espérer au même moment. Cet effet se renforcera naturellement au cours du temps, débouchant sur une situation de blocage (« lock-in »). Un nouveau **paradigme** et une nouvelle **trajectoire technologiques** apparaissent ainsi.

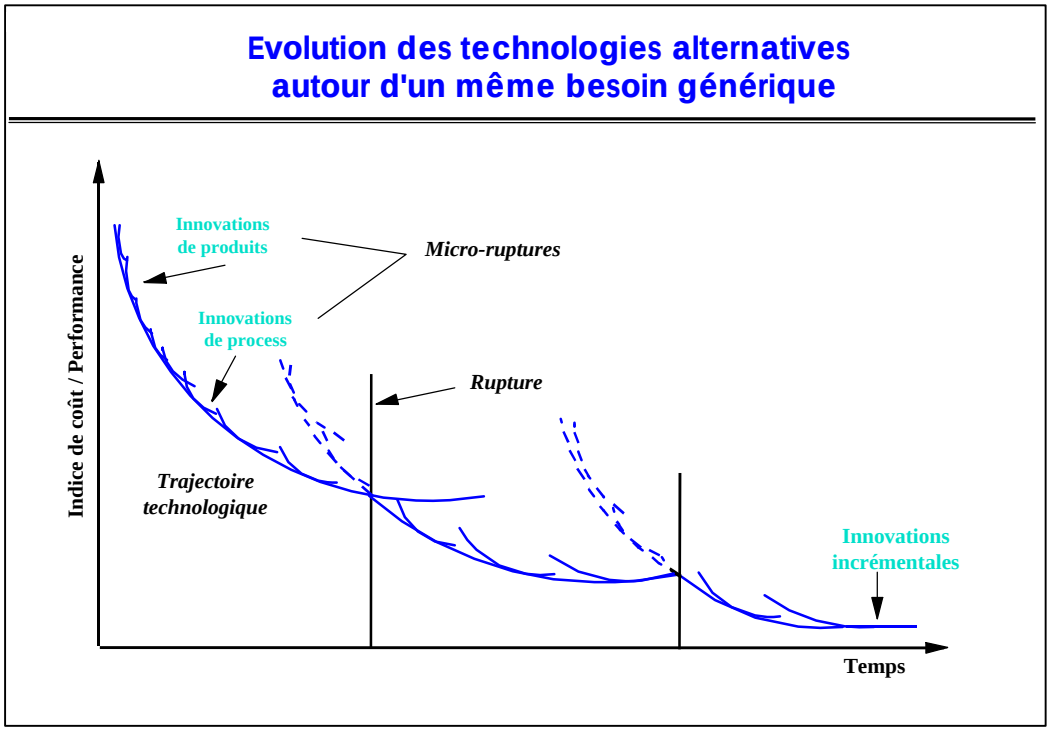
Sur cette niche, la nouvelle technologie est rapidement améliorée et tend à faire tâche d'huile vers d'autres segments de marché, à travers des mécanismes de tâtonnement, d'essais et d'amélioration par essence cumulatifs. Des suiveurs joignent les premiers développeurs et accélèrent ces processus d'apprentissage, de mise au point et de **diffusion**.

La nouvelle technologie s'étend progressivement à une part toujours plus grande du marché et **cannibalise** littéralement les parts de marché de l'ancienne technologie dominante en un processus de **substitution** à la fois explosif et difficilement réversible. Les leaders sur l'ancienne technologie dominante ont le choix entre l'entêtement pour tenter d'améliorer une technologie

pourtant dépassée ou la stratégie du suivi tardif pour prendre le train en marche et tenter de rester dans la course, en acceptant les nouvelles règles du jeu imposées par les exigences de la nouvelle technologie qui s'impose comme dominante.

Dans le même temps, la **segmentation** du marché évolue, les frontières du métier se déplacent, le marché est, dans certains cas, amené à s'élargir, des sous-segments apparaissent. Un nouveau processus de **maturation** est à l'œuvre avant le prochain épisode de dé-maturation dont l'avènement est inévitable, parce qu'ainsi va la vie des technologies.

La figure ci-dessous représente graphiquement certains des aspects de cette modélisation qui s'inscrit dans le courant dit évolutionniste au sein de l'économie du changement technique.



C'est en fait de toute l'articulation entre économie, technologie et innovation dont il est ainsi question. Dans la lignée des systèmes techniques de Bertrand Gille, il faut attendre (et souhaiter) de nouveaux progrès dans la connaissance des conditions de développement économique associé au progrès scientifique et à l'évolution technologique. Science, technologie, innovation et développement économique constituent les pierres angulaires d'un édifice conceptuel encore en construction. Au cœur de ce dispositif, l'entreprise, l'entrepreneur et le manager jouent un rôle clé pour mobiliser les voies de recherche les plus prometteuses, choisir les développements technologiques les plus pertinents et ainsi façonner les trajectoires technologiques au service du développement économique et social.

L'enjeu de la prospective technologique

Au total, les acteurs de la vie économique ont le devoir d'anticiper et de se préparer à la diversité des futurs technologiques possibles. Il n'est guère possible de penser l'avenir des technologies de façon déterministe comme si le futur était écrit quelque part, attendant d'être mis à jour. La technologie nous a habitués à se jouer des prévisions. A l'inverse, l'école de La Prospective à la française nous a appris combien la trajectoire future résultera du jeu des acteurs, de leurs stratégies, de leurs oppositions, de leurs coopérations. L'enjeu est alors de nous efforcer d'aider ces acteurs à se préparer à la palette des

possibles, de façon à être à même de s'adapter rapidement à ce que le futur nous aura finalement construit.

C'est bien là tout l'esprit prospectif de cet exercice Technologies Clés 2005. La puissance publique est dans son rôle lorsqu'elle amène les différentes parties prenantes à s'interroger sur les axes technologiques susceptibles de structurer le futur de l'économie. Elle contribue d'abord à camper le décor à travers un rapport signalant les thèmes technologiques majeurs pour demain et après-demain ; elle contribue aussi à élargir les champs de vision et à allonger les horizons de réflexion. Elle contribue enfin, à travers le processus même de l'exercice prospectif, à faire que les acteurs participants s'interpellent, entrechoquent leurs idées, confrontent et enrichissent leurs stratégies, nouent des relations nouvelles et constituent des réseaux dont on sait toute l'importance en matière d'innovation.

En outre, ce dont il est question ici, c'est du repérage simultané des voies technologiques prometteuses et des fonctionnalités de marché que ces technologies ont vocation à satisfaire. L'enjeu n'est pas que dans le recensement des bonnes solutions futures, il est au moins autant dans l'identification des vrais besoins de demain et donc des problèmes à résoudre.
Lorsque la trajectoire technologique est bien en place et que la prochaine révolution anticipée est lointaine, la question est celle du repérage chronologique des prochaines étapes d'exploration de la technologie dominante. Il s'agit aussi de la levée des verrous qui freinent l'amélioration de la performance de cette technologie qui devrait donc renforcer sa domination, au moins à l'horizon de réflexion envisagé.
Lorsque la technologie dominante ne progresse plus assez vite et qu'existe une diversité voire un foisonnement d'options alternatives, alors s'il peut être parfois question de dire quelle option a le plus de chances de l'emporter, il est en général préférable, surtout dans les cas très incertains, d'annoncer une rupture à venir sans pour autant essayer de dire quelle voie alternative l'emportera. Ainsi est-il délicat de désigner aujourd'hui quelle technologie d'écrans plats est à même de prendre le dessus ou si plusieurs technologies sont susceptibles de coexister, chacune sur des segments de marché différents. Mais il est clair que les écrans plats constituent un besoin clé pour le futur.

C'est bien que la prospective n'est pas la prévision (qui cherche à désigner le plus probable), mais une posture ouverte qui décrit les voies possibles et suggère de se préparer à cette diversité.

Ceci justifie, si besoin était, qu'un travail de prospective technologique aborde la double question miroir de l'évolution de la demande et de celle du contexte économique au sein duquel les technologies clés sont susceptibles d'être mobilisées demain. C'est l'objet des deux prochains chapitres.

I.2 – Les grandes tendances de la demande

Les grandes tendances de la demande : perspectives pour les prochaines années

Le regard porté ici sur la demande concerne essentiellement la consommation finale et les attentes du consommateur, en particulier en Europe et dans les pays développés.
En adoptant cette perspective spécifique, ce chapitre ne décrit donc pas toutes les dimensions de l'évolution de la demande mais apporte néanmoins un éclairage utile pour notre exercice prospectif.

- La demande du consommateur est en partie nourrie des évolutions socio-démographiques qui traversent la plupart des sociétés occidentales : le vieillissement généralisé de la population, un rapport au travail qui s'est complètement transformé pour donner à cette valeur « traditionnelle » une nouvelle conception toute en flexibilité, la nucléarisation de plus en plus poussée des foyers,... tout cela a des répercussion considérables – qui n'en sont qu'à leurs débuts - sur les modes de vie et, par là, sur la consommation.

- La personnalisation de la consommation modifie les rapports entre l'offreur et les consommateurs en développant **le sur-mesure et le recours à des solutions globales**. C'est aussi sur ce vecteur que se développent le besoin de « reliance », l'accélération de la demande de communication.

- Les consommateurs attendent de véritables **garanties sur les produits consommés**. Ces garanties peuvent nécessiter des innovations tant au niveau des produits que des processus de production car elles touchent des domaines aussi divers que la santé, l'hygiène, la sécurité ou bien l'écologie.

- L'innovation technologique possède **une dimension de praticité** auprès des utilisateurs. L'amélioration de l'interface du produit revêt dans cette optique un caractère stratégique. La bi-activité des couples et le vieillissement de la population risquent d'accentuer la demande de praticité dans les objets consommés.

Les déterminants socio-démographiques de la consommation des années 2000

Les évolutions socio-démographiques en cours en France et dans une grande partie des pays occidentaux modifient l'environnement de consommation. Ce sont ces déterminants dont on cherche ici à comprendre l'influence sur le consommateur et ses comportements de consommation.

La redistribution des cartes démographiques

La population française voit son paysage fortement restructuré depuis une vingtaine d'années : le vieillissement et la réduction de la taille des foyers - dus à une baisse du nombre des naissances - commencent ainsi à peser substantiellement sur les comportements de consommation.

Le vieillissement de la population

Le vieillissement de la population couplé avec l'allongement de la durée de vie a augmenté et augmentera encore le poids des seniors[1] dans la population totale. En 2020, les plus de 60 ans pèseront pour plus d'un quart dans la population totale (26,8 %) contre 20,4 % aujourd'hui. De plus, alors qu'aujourd'hui, les plus de 75 ans ne représentent qu'à peine un quart des plus de soixante ans, ils constitueront près de la moitié de cette population à l'horizon 2050. Avec l'allongement de la durée de vie et la faiblesse de la natalité, la population vieillit, et avec elle, la population âgée vieillit également…

Le vieillissement de la population :
- En 1950, moins de 200 centenaires en France
- En 2000, de l'ordre de 8 000
- Il y en aura de l'ordre de 150 000 en 2050

- ***Une population consciente des apports des nouvelles technologies***

Lorsqu'on leur demande de se projeter dans un avenir qui les concernera personnellement (c'est à dire à environ 10 ans), les seniors ne montrent pas de résistance particulière à l'irruption des dernières technologies dans leur vie quotidienne. Ils sont aussi nombreux que la moyenne - et que les plus jeunes des Français - à envisager une diffusion massive du téléphone portable, du sèche-linge ou du DVD. Ils s'opposent en revanche aux plus jeunes sur le thème de l'informatique - et dans une moindre mesure sur la photo numérique : l'objet lui-même reste très complexe et fournit un service qui, manifestement, n'entre pas encore dans l'univers des besoins potentiels et pratiques des plus de 50 ans (et surtout des plus âgés d'entre eux). On notera à l'inverse **le succès significativement supérieur à la moyenne des produits à dominante écologique** (solaire, éolienne).

[1] Précisons que ce terme de seniors s'applique aux personnes de 50 ans et plus, soit aux actifs en perspective de retraite, aux retraités et à leurs conjoints, dans la société.

L'équipement des foyers en 2010 selon les seniors

% des réponses à la question : en 2010, la plupart des foyers seront équipés selon vous de…

	18-30 ans	50 ans et plus	Ensemble
Un téléphone portable	96	95	95
Un sèche-linge	89	88	90
Un magnétoscope à Compact Disc	79	80	83
Un micro-ordinateur connecté à Internet	**87**	73	**80**
Une télévision numérique interactive sur satellite	72	71	73
Une plaque de cuisson électrique à induction	73	74	72
Un visiophone (téléphone avec images)	69	70	70
Un appareil de contrôle et de purification de l'eau courante	57	70	65
Un appareil-photo numérique	**65**	60	64
Un écran de télévision mural ultra plat	56	69	63
La voiture électrique	50	54	51
Des panneaux solaires ou des éoliennes à domicile	28	**46**	38
Un kit de diagnostic médical personnel	31	**42**	37
Une machine à repasser automatique	32	**42**	37
Une tondeuse à gazon automatique à énergie solaire	25	**40**	34

Source : Enquête CREDOC 1997

- ***Les effets spécifiques liés au vieillissement***

Les personnes de plus de 60 ans semblent ainsi se trouver pleinement en phase avec l'environnement actuel de la consommation. Au-delà de ce constat, le vieillissement de la population aura des répercussions certaines dans le domaine de la santé. La fréquence des maladies et les taux d'hospitalisation sont plus élevés chez les personnes âgées, même si leur état de santé s'est amélioré ces dernières années[2]. **Le secteur de la santé devra donc répondre à ces défis dans les années à venir** en termes de recherche sur les pathologies se déclarant surtout après 50 ans, d'amélioration de prothèse ou de traitements adaptés aux problèmes de mobilité.

La diminution de la taille des foyers

A l'orée des années 1970, le ménage français moyen était constitué de 3,1 personnes ; en 1997, on ne comptait plus que 2,5 individus par foyer. Compte tenu des taux de fécondité globalement en baisse et de la nature très linéaire de cette diminution, on peut s'attendre à ce que ce nombre moyen avoisine les 2,3 en 2005.

L'impact de cette évolution se traduit par une individualisation de la consommation et l'on voit émerger de nouvelles attentes - en matière de présentation, d'emballage pour ce qui est des produits alimentaires, en matière de qualité et de fonctionnalités pour l'électroménager ou l'audiovisuel par exemple. En conséquence, une place de plus en plus large sera faite aux marchés de niches.

De nouveaux modes de vie

La bi-activité des couples

La participation des femmes sur le marché du travail a progressé régulièrement pour atteindre aujourd'hui 49 % de la population active totale. Cette « féminisation de la société » a évidemment fortement contribué à modifier les stratégies des entreprises, et cette tendance se poursuit, voire tend à

[2] 1 % des personnes ayant 60 ans ont la maladie d'Alzheimer. Ce pourcentage s'accroît avec l'âge : 5 % des personnes de 75 ans et 15 % des personnes de plus de 85 ans.

s'amplifier. En fait, il s'agit d'un double phénomène : d'une part, de plus en plus de produits s'adressent directement aux femmes ; d'autre part, les femmes investissent de plus en plus dans des domaines jusqu'alors réservés à un univers typiquement masculin : les entreprises de jardinage et de bricolage par exemple proposent désormais des gammes d'outils et d'activités destinés spécialement aux femmes. De même, la voiture, objet typiquement masculin jusque dans les années 80, a vu son offre se segmenter depuis et à l'approche du troisième millénaire, les valeurs « féminines » semblent même prendre le pas en la matière : les monospaces - avec leurs déclinaisons petite et moyenne gamme - ancrent l'automobile dans les valeurs familiales, de confort, de convivialité, de « douceur » et de sécurité qui, progressivement, gagnent l'ensemble des nouveaux véhicules... La bi-activité des couples se répercute également au niveau des attentes objectives des produits, notamment sur la demande de gains de temps dans la sphère domestique, que ce soit au niveau de l'alimentaire que des biens d'équipement ménagers.

Une croissance de la qualification

Les objectifs annoncés par un Ministre de l'Education dans le courant des années 80 (« 80 % des effectifs d'une classe d'âge au niveau bac ») sont en passe d'être atteints : alors qu'en 1950, 5 % d'une classe d'âge a le bac, qu'en 1978, 70 % des « sortants » du système éducatif ne disposaient soit d'aucun diplôme soit au plus d'un BEP (niveau 3ème), en 2000, ce dernier taux a presque été divisé par deux, pour arriver à 38 %.
Cette qualification croissante des Français joue évidemment un rôle prépondérant dans la perception des choses et dans les pratiques des consommateurs. Plus diplômé, on a tendance à s'informer sur les produits, à comparer, à comprendre et à exiger davantage.

Un nouveau rapport au travail

- ***Une plus grande flexibilité***

Alors que la France des années 1980 vivait encore dans l'idée de « carrière », d'emplois stables et durables, la fin du second millénaire donne une toute autre vision du champ professionnel : en l'espace de dix ans, le nombre d'heures de travail intérimaire a été multiplié par près de quatre ; fin 1997, plus d'un nouvel embauché sur deux l'était sur un contrat précaire (CDD, CES,...) ; le stage est devenu pour un jeune n'ayant encore jamais eu d'emploi une pratique courante, voire répétitive. Globalement, la « flexibilité » est aujourd'hui une notion, sinon complètement acceptée, du moins de plus en plus communément diffusée et l'on n'envisage plus de donner toute sa vie professionnelle à un même employeur. Cette souplesse qui conduit à une mobilité beaucoup plus grande induit également de nouveaux rapports de l'employé avec son entreprise ; dans la mesure où il devient impossible d'envisager une évolution à long terme dans la même structure, l'investissement du salarié repose sur des valeurs plus personnelles. Il cherche moins à s'intégrer à une « culture d'entreprise » qu'à s'épanouir dans l'exercice de son activité. La **tendance à l'individualisation** est donc fortement renforcée par l'éclatement des conditions de travail.

- ***L'interpénétration de la sphère du domicile et la sphère du travail***

On travaille de plus en plus au bureau et à la maison, au point que certains nouveaux objets de consommation - le téléphone portable, le micro-ordinateur, voire la voiture - appartiennent en fait aux deux sphères indistinctement. Cette « confusion » des rôles mène à une **demande d'échanges accrue** entre plusieurs personnes face à leur autonomisation dans la sphère du travail. Les innovations technologiques dans les télécommunications ont entraîné l'apparition de nouveaux produits et services qui ont rencontré un écho favorable auprès des consommateurs. Les nouveaux objets de consommation - le téléphone portable, le micro-ordinateur - symbolisent la communication, l'échange entre plusieurs personnes qui chacune vivent plusieurs rôles (professionnel, scolaire, familial, amical,...). Parallèlement, ces nouveaux moyens de communication augmentent la mobilité des personnes en permettant une interpénétration croissante entre la sphère du travail et la sphère du domicile.

Des comportements de consommation de plus en plus entrepreneuriaux

Les nouveaux rapports au travail et la croissance de la qualification modifient certainement les comportements de consommation. Les années de morosité économique ont accentué le rôle du prix dans les décisions d'achat par rapport aux années 1980. En outre, les comportements d'achat se sont progressivement modifiés. L'achat impulsion qui pouvait caractériser certains consommateurs a davantage laissé place à un **achat raisonné reposant sur des stratégies de consommation plus élaborées.**

La recherche de prix les plus bas…

Même si les consommateurs s'intéressent aussi à d'autres éléments constitutifs de l'offre, l'argument « prix » est devenu un élément clé de l'achat bien plus qu'au cours de la décennie précédente. Les consommateurs des années 2000 n'hésitent pas à reporter des achats afin de bénéficier des meilleurs prix en attendant les soldes, les promotions, ou tout simplement d'avoir l'argent nécessaire sans prendre un nouveau crédit. Ils affichent en outre une préférence marquée pour les produits bas de gamme et se reportent facilement sur les produits hard discount et les marques de distributeurs. Signe des temps, cette tendance s'observe en Europe, mais également au Japon[3] où la baisse des revenus a rendu les consommateurs plus exigeants et précautionneux dans leurs achats.

… induit progressivement l'émergence de nouveaux comportements plus entrepreneuriaux

L'habitude prise de vivre dans un contexte socio-économique « déprimé » a engendré des pratiques nouvelles en matière de consommation, et en particulier une exigence croissante du consommateur. L'importance accordée aux « meilleurs » prix a ainsi conduit les Français à exercer une pression plus forte sur les commerçants : le « marchandage », inexistant jusqu'à la fin des années 80, a fait son apparition, y compris dans la grande distribution. Le succès des magasins de hard discount – apparus voici une dizaine d'années -, des soldes et autres opérations promotionnelles ne se dément pas.
Le consommateur a appris à recourir à des « stratégies » d'achat en traversant ces années difficiles. De même que le salarié se place aujourd'hui dans une relation plus autonome face à son employeur, de même le consommateur entretient-il un rapport plus « libre » avec les commerçants et, par voie de conséquence, avec les producteurs. L'évolution du recours à la grande distribution est ainsi significative. Une même personne, de statut social élevé, peut faire ses courses hebdomadaires à Carrefour, compléter pour certains achats (les liquides, les aliments de base,...) au hard discount le plus proche, prendre le temps de faire son marché dominical, et recourir à des enseignes de luxe pour certaines circonstances particulières... La démultiplication des lieux de vente, constatée depuis quelques années, est le fruit de cette modification.

Au total, les tendances lourdes analysées ci-dessus, que ce soit au niveau démographique ou au niveau des modes de vie, modifient et vont encore modifier l'environnement des consommateurs. Au-delà, apparaissent des comportements de consommation plus entrepreneuriaux, c'est-à-dire plus autonomes et plus responsables. La conjonction de ces éléments se traduit par des attentes spécifiques et en même temps hétérogènes.

[3] En juillet 1999, le revenu disponible était 2,5 % inférieur à celui de juillet 1998, en partie à cause de la diminution des primes.

Les attentes des consommateurs : principales tendances des années 2000

Il est donc aujourd'hui plus difficile de raisonner sur un modèle unique de consommation. Les attentes des consommateurs sont en effet multiples et variées. Dans ce contexte, l'innovation technologique doit s'aborder dans un sens large puisque la prise en compte de ces attentes peut modifier l'approche de l'offreur dès la conception du produit.

L'attente de solutions personnalisées

L'émergence de comportements de consommation plus entrepreneuriaux s'accompagne d'une **complexification des attentes** des consommateurs, les besoins étant plutôt tournés vers une recherche de réalisation et d'épanouissement personnel. Ces éléments amènent les consommateurs à se tourner davantage sur leur propre personne et à demander des solutions personnalisées.

La personnalisation et le sur-mesure

- ***De l'individualisation à la personnalisation***

Le passage de l'individu à la personne correspond à un changement dans le mode d'appréhension des consommateurs. Alors que l'individu se définit par rapport à l'autre, ce qui se traduit par une offre cherchant à le séduire et à le flatter en le différenciant, la personne se définit par rapport à elle-même, l'offre essayant de tenir compte de son histoire personnelle. La personnalisation de la consommation relègue l'anonymat au second plan et donne un rôle actif au consommateur : celui de pouvoir élaborer sa consommation. Chaque personne élabore alors son schéma de consommation en fonction de ses espace et temps de consommation qui sont eux-mêmes liés à sa propre subjectivité. En conséquence, la personnalisation de la demande entraîne une multiplicité des attentes à l'origine d'une fragmentation des marchés.

- ***La demande de sur-mesure***

Le passage de l'individu à la personne est celui du standard au sur-mesure. L'offreur ne va pas proposer différents modèles, mais un modèle avec des options différentes. Ce sera par exemple des chaussures possédant des largeurs différentes, ou encore la possibilité de fabriquer soi-même son voyage à partir de différents services proposés,... Les nouvelles technologies constituent une formidable aide au développement du sur-mesure puisqu'il est possible d'effectuer des simulations sur ordinateur de différents produits. Ceci existe dans la confection de lunettes avec un opticien japonais où le client co-fabrique sa paire de lunettes avec l'opticien grâce à une simulation sur ordinateur.
Le sur-mesure implique plusieurs contraintes pour l'offreur : proposer à un coût bas des produits ou services et pouvoir leur donner des circuits de masse tout en satisfaisant des besoins individuels. Il exige une grande flexibilité et donc une organisation souple pour répondre aux besoins individuels de chaque consommateur.

- ***La recherche de solutions globales***

Le sur-mesure est promis à un bel avenir et pourrait s'organiser autour d'une offre de biens et services associés - des « bouquets de services ». La personne ne consomme plus un produit donné, mais consomme un ensemble de produits et services personnalisé répondant à un besoin précis. Cette évolution s'observe déjà dans la relation consommateur-entreprise. Par exemple, le tourisme où les tour-opérateurs proposent un ensemble de solutions (transport, hébergement, animation) en a été très tôt le précurseur. La logique de bouquet s'exprime également sur de nouveaux produits (téléphonie mobile, audiovisuel) ainsi que sur des marchés traditionnels (assurance, immobilier). La proposition de solutions globales s'observe également dans la relation « business-to-business ». Les solutions prêtes à l'emploi en matière de commerce électronique sont notamment proposées par de nombreux

constructeurs informatiques qui associent dans une offre intégrée des produits et services complémentaires (exemple de « packs e-business » de IBM).

Le besoin d'être en permanence relié aux autres

L'autonomisation croissante des consommateurs entraîne un besoin permanent d'être relié aux autres. L'accès à l'information et aux moyens de communication constitue en ce sens un aspect essentiel de leur comportement. Le besoin d'être relié aux autres et à l'information se traduit par une utilisation massive des nouvelles technologies de l'information et de la communication.

- ***L'utilisation des TIC : des stades de maturité différents selon les pays***

L'utilisation des nouveaux moyens de communication est en voie de diffusion dans les pays occidentaux. Pour l'instant, les Etats-Unis semblent avoir une longueur d'avance sur l'Europe et le Japon en matière d'accès et d'utilisation d'Internet, bien que les cartes ne soient pas totalement jouées, ne serait-ce que si l'on prend en compte le développement actuel d'Internet sur les mobiles.
L'accès à Internet aux Etats-Unis est largement diffusé dans les foyers et la population utilise régulièrement les services offerts par la Toile (commerce électronique, courtage en ligne,…). En Europe, les taux d'équipement en accès Internet diffèrent selon les pays. Le clivage Nord/Sud s'opère dans la mesure où les pays d'Europe du Nord sont largement plus équipés en mobiles et accès Internet. Cet élément entraîne des attitudes plus « matures » dans les pays du Nord en matière d'utilisation d'Internet. Les pays d'Europe du Sud sont plus enclins à utiliser Internet pour s'informer et communiquer alors que les pays d'Europe du Nord possèdent une vision plus utilitaire d'Internet (achats, information sur les produits,….). Les Japonais se sont également mis à utiliser Internet même si le démarrage a été lent en raison notamment de coûts de communications locales élevés. L'utilisation d'Internet correspond également à une modification de leurs comportements d'achat via le développement de stratégies d'achat élaborées. Les Japonais - en particulier les Japonaises - comparent par ce moyen les prix et n'hésitent pas à commander à l'étranger si le différentiel de prix est trop important.

- ***Le besoin d'être relié aux autres : un écho favorable chez les seniors et les juniors***

Même s'ils ne sont pas aujourd'hui au cœur de la diffusion des nouveaux produits « communicants », les seniors, dans un souci de « reliance » familiale, et grâce à leurs ressources confortables, vont tendre à privilégier de plus en plus les modes de communication, que ce soit les transports (automobile) ou les télécommunications. En 1995, le taux d'équipement en téléphone pour les 60-64 ans est de 94,4 % et pour les 65-69 ans de 96,3 % contre 93,6 % pour l'ensemble des ménages. On peut penser que, de par leur simplicité d'utilisation, les téléphones mobiles vont rapidement se diffuser auprès de cette population.
De même, les plus jeunes (années collèges) déjà visés (avec un réel succès) par les pagers (Tatoo, le concept de « tribu »), vont être de plus en plus sollicités par les opérateurs de téléphonie mobile : « mobicartes » à usage des 10-15 ans, téléphones avec des touches à pictogrammes,... Dans le modèle nouveau du consommateur entrepreneur, l'enfant, l'adolescent doivent être reliés à leurs parents alors même que ces derniers n'ont pas forcément de lieu fixe dans la journée. Les objets communiquants ne peuvent donc que se développer dans un tel contexte auprès des plus jeunes.

Les attentes objectives envers les produits

Dans ce contexte, l'innovation technologique s'inscrit plutôt dans une optique utilitaire. Elle doit rassurer par sa simplicité et sa praticité.

L'innovation technologique doit rassurer

- ***L'innovation technologique : un critère d'achat qui n'est pas essentiel***

La perception de l'innovation technologique qu'ont les consommateurs français s'avère assez mitigée. Un bon tiers d'entre eux se disent attirés par l'innovation : 38 % jugent attractifs les produits comportant une innovation technologique. Le même constat s'observe en Europe même si nos voisins semblent accorder plus d'importance à l'innovation. Parmi les critères incitatifs à l'achat d'un produit, celui concernant l'innovation technologique n'est pas essentiel pour les consommateurs européens. Ils sont 45 % pour les Britanniques, 46 % pour les Allemands et 57 % pour les Italiens à se déclarer sensibles à l'innovation technologique. L'importance accordée au critère « innovation technologique » s'explique surtout par un effet d'âge dans chacun des pays étudiés. En France, il est également corrélé à un effet « statut social », les produits à forte innovation technologique entraînant une distinction sociale marquée.

- ***Un besoin de « rassurance » par rapport à l'innovation technologique***

Ce « penchant » pour l'innovation s'exprime cependant à des degrés divers dans les intentions d'y céder. Certes, 34 % des Français accepteraient de payer plus cher un produit « innovant » ; néanmoins, 24 % seulement se disent tentés de remplacer un équipement existant par un produit de même type et comportant une innovation technique. Enfin 12 % seulement de la population se verraient prêts à « essuyer les plâtres » en optant pour un produit innovant plutôt que pour un produit ayant « fait ses preuves ».

Il existe en fait une réelle inquiétude, un vrai besoin de « rassurance » (de se rassurer) à l'égard des nouveautés technologiques. Ce sentiment conduit une majorité des Français à rechercher une caution directe et concrète, porteuse de confiance quant il s'agit de choisir, d'acquérir un produit innovant : le conseil d'un ami, la possibilité d'essayer personnellement,...

Cela tient en partie dans le fait que les produits innovants présentent, par ailleurs, un certain déficit d'image. D'une part, leur composante novatrice ne semble pas être un « plus » systématique pour l'entreprise qui les produit. Quant à paraître un gage de sûreté, cette opinion reste également discutée. Mais le plus ennuyeux sans doute, c'est que pour plus de la moitié de la population, ces produits sont plutôt apparentés à des gadgets, ils ne contribuent pas à simplifier la vie quotidienne et sont en conséquence « réservés à des passionnés ».

Ainsi, la demande de produits innovants reste relativement faible. Une large majorité de Français juge que les produits grand public comportent aujourd'hui juste ce qu'il faut d'innovations. Mais le plus notable est qu'on pense bien plus souvent qu'il y a « suffisamment » ou « trop » d'innovations, plutôt qu'il « y en a trop peu ». Le nombre de personnes critiquant ce trop-plein va même jusqu'à représenter un Français sur trois pour ce qui concerne la vidéo, hi-fi, photo, domaine où l'utilisateur est peut-être, si l'on excepte la micro-informatique, le plus en relation avec la complexité technologique (multiples fonctions, programmations, nécessité de comprendre le mode d'emploi,...).

Certains observateurs croient cependant apercevoir ces tous derniers temps des signes encourageants quant à l'acceptation de l'innovation par les consommateurs. Une étude réalisée auprès de 600 personnes dans trois grandes villes de France depuis 4 ans semble ainsi montrer que le consommateur devient plus sensible à l'innovation : en 1996, 59 % des répondants estimaient que « l'innovation, c'est quelque chose qui apporte une vraie différence » ; trois ans plus tard ils sont 75 % à le penser. Par ailleurs, dans la même étude, il apparaît clairement que les consommateurs admettent de plus en plus que la véritable innovation doit se payer[4].

Le besoin de praticité ou la prise en compte de l'interface

L'innovation technologique peut parfois entraîner une complexité d'utilisation qui freine la consommation de l'objet. L'exemple frappant en est le magnétoscope qui, au départ, était réservé aux

[4] « Les Français d'accord pour payer l'innovation », LSA n° 1636, 17 juin 1999.

catégories de consommateurs les plus motivées pour se plonger dans les notices d'utilisation du produit. La simplification du produit a pu élargir le marché.
Ainsi, l'innovation qui rend un produit pratique et accessible sera davantage privilégiée par les consommateurs. Cette praticité se traduit par la simplicité d'utilisation. Mais elle exige en revanche une technologie souvent pointue permettant cette simplification. La praticité peut également se décliner sous la forme de gain de temps, notamment dans la sphère domestique. Que ce soit dans le domaine alimentaire ou celui des produits électroménagers ou électroniques grand public, la tendance est celle de la réduction du temps d'utilisation (aliments à cuisson rapide, emballages faciles à ouvrir, programmes rapides sur les machines à laver le linge ou la vaisselle,…).
La demande de praticité risque de se renforcer dans les années à venir compte tenu des évolutions socio-démographiques. Ceci sera renforcé par le vieillissement de la population. Car si les seniors sont généralement en phase avec la société de consommation en termes d'équipement ménager et audiovisuel, ils demeurent en retrait en ce qui concerne l'utilisation des nouvelles technologies (micro-ordinateurs, Internet,…). Les seniors se déclarent bien souvent réceptifs à l'innovation technologique à condition qu'elle leur facilite la vie[5]. Par ailleurs, la bi-activité des couples induit une demande de gain de temps, notamment au niveau de la sphère domestique. Le marché de demain doit aller encore plus loin, proposer une gamme de produits destinés à rentabiliser encore mieux son temps tout en préservant une certaine qualité de vie : performances accrues des appareils ménagers actuels - aspirateurs anti-acariens, fours encore plus rapides et multi-fonctions,... -, produits alimentaires d'assemblages qui permettent de « faire » réellement la cuisine mais à base d'éléments déjà préparés,...

La recherche de garanties dans les biens consommés

Les attentes envers les produits consommés prennent également la forme de garanties certifiant que le produit respecte certains critères tels que l'hygiène, la sécurité ou bien le respect de l'environnement.

Une demande de garanties d'hygiène et de sécurité de plus en plus importante

Les différentes crises ont accru la méfiance des consommateurs à l'égard des biens de consommation et les ont rendus exigeants en termes de garanties. Parmi les critères incitatifs à l'achat en France et en Europe, la demande de garanties d'hygiène et de sécurité arrive en effet en tête selon les personnes interrogées lors des enquêtes Consommation.

- ***Des produits à multifonctionnalités***

Les garanties d'hygiène possèdent deux dimensions. La première a trait à la santé associée à une bonne hygiène de vie, la seconde concerne davantage l'hygiène à proprement parler.
Dans les années 1980, la santé était associée à la minceur, à l'apparence extérieure et à la « forme ». Aujourd'hui, le souci d'une bonne santé implique la recherche d'un bon équilibre. Il s'est traduit dans un premier temps par la recherche de produits équilibrés contribuant à conforter la santé (produits alimentaires à teneur garantie en vitamines, produits alimentaires à composition en lipides équilibrée,…). Pourtant, la méfiance actuelle devant la production alimentaire industrielle pourrait dans les années à venir amener deux réactions complémentaires. La première serait une certaine désaffection pour ces produits « complémentés » du fait de leur composante « non naturelle ». La seconde serait un intérêt accru pour les produits bio. Comparés aux autres consommateurs en Europe, les Français restent relativement timides par rapport aux produits bio. En 1998, 44 % des personnes interrogées avaient déjà acheté des produits issus de l'agriculture biologique contre 70 % en Allemagne, 54 % en Italie et 50 % en Angleterre. Mais ce marché sera probablement amené à progresser dans les années à venir.

[5] Collerie de Borely, L'innovation technologique commence à séduire les seniors. Consommation et Modes de vie, n° 124, 28 février 1998.

L'hygiène – au sens de propreté – est souvent mise en avant afin de lutter contre les nuisances qu'apportent les modes de vie urbains – pollution, saletés diverses, allergies,… Le souci de propreté implique l'existence de produits à options multiples tels que les matelas anti-acariens, les produits ménagers antibactériens,… Le produit possède ainsi une double vocation, la première répondant au besoin fonctionnel pour lequel il est destiné avant tout (dormir pour le matelas), la seconde assurant dans le même temps une meilleure hygiène (lutte contre les acariens). Ces produits devraient continuer à connaître un certain succès, les consommateurs étant de plus en plus vigilants contre ces nuisances que développent les modes de vie urbains[6].

- ***Axer les processus de production et les produits sur la sécurité***

La recherche de sécurité implique une fiabilité totale du produit consommé ; elle est également liée à la qualité du produit. Elle se traduit ainsi par des normes de sécurité de plus en plus élevées sur les appareils électriques, mais aussi les jouets et jeux par exemple. Les labels de qualité et les normes constituent des moyens appropriés pour signaler ces éléments aux clients, qu'il s'agisse des consommateurs ou des entreprises.

Cette première dimension trouve généralement sa traduction concrète dans des éléments certifiant l'hygiène et la sécurité. Cette tendance devrait se poursuivre dans les années à venir. A titre d'exemple, le développement des OGM dans la chaîne agro-alimentaire suscite un climat de méfiance auquel les autorités tentent de répondre par des labels certifiant la présence d'OGM. L'Europe et le Japon se différencient à cet égard des Etats-Unis par l'obligation de mentionner sur certains produits alimentaires la présence d'OGM[7].

Des attentes fortes en matière de garanties écologiques

La dégradation de l'environnement fait partie des préoccupations croissantes des consommateurs, qu'ils soient en France ou dans les autres pays européens. Les garanties écologiques demeurent un critère incitatif à l'achat pour bon nombre de personnes interrogées[8].

- ***Des produits naturels et recyclables***

La réponse s'est traduite par le développement de produits naturels et de produits recyclables. Les éco-recharges et les produits « deux en un » en sont la parfaite illustration. Ils correspondent à un souci de préserver l'environnement en évitant la prolifération de déchets non dégradables. En même temps, ils permettent une économie de temps et de prix pour le consommateur car les produits proposent plusieurs fonctions et ils économisent pour les entreprises de l'emballage et de la manutention. Ces produits se sont développés dans le domaine alimentaire et le domaine des produits ménagers. Les acteurs du jardinage utilisent également de plus en plus l'écologie comme argument de vente.

[6] En 1997, près d'un Français sur deux prétendait être touché directement ou avoir un de ses proches touché par les effets de la pollution. « De plus en plus d'automobilistes se disent prêts à agir pour limiter la pollution de l'air ». G. Hatchuel et JP Loisel, Consommation et Modes de vie, n° 125, mars 1998.

[7] Cette mesure est déjà en place en Europe et sera appliquée au Japon à partir d'avril 2001.

[8] Enquête Consommation Crédoc.

L'achat de produits « verts » en France, Allemagne Royaume-Uni et Italie

Vous arrive-t-il d'acheter … ?

En % de réponses affirmatives	France	Allemagne	Royaume-Uni	Italie
	Base = 1006	Base = 506	Base = 500	Base = 501
Des produits de l'agriculture biologique	44,4	70,0	49,6	53,8
Des produits biodégradables pour le ménage	72,0	84,6	62,8	85,0
Des éco-recharges	67,1	87,4	72,2	73,9
Du papier recyclé	70,9	82,8	72,8	60,6
Des produits alimentaires en vrac	31,9	51,4	50,6	33,0
Des ampoules à économie d'énergie	46,7	64,6	44,4	65,8

Enquête Crédoc 1998

- ***Des entreprises non polluantes et des produits « propres »***

Simultanément, les attentes en matière écologique impliquent un droit de regard sur le comportement de l'entreprise. Les entreprises considérées comme polluantes sont de plus en plus « montrées du doigt » par les consommateurs. Ces exigences entraînent le plus souvent des modifications dans les stratégies des entreprises, notamment les multinationales. Les récents changements stratégiques de Coca Cola s'expliquent en partie par sa difficulté à gérer la contamination de ses canettes en Europe en juin 1999. L'entreprise a depuis mis en place une « politique citoyenne » au niveau mondial tout en prévoyant de développer des marques dédiées aux marchés locaux. Les entreprises peuvent adopter des chartes respectant l'environnement, mais, au-delà d'une dimension de communication, elles peuvent également mettre en place des processus de production moins polluants et plus respectueux de l'environnement.

Le souci de l'environnement devrait continuer à s'étendre dans les années à venir et se concrétiser de plus en plus, non pas seulement par des actions de communication, mais par des innovations permettant une production et des produits « propres » et non polluants.

I.3 - La nouvelle économie : de quoi parle-t-on ?

La part prise par les technologies de l'information et l'essor d'une « nouvelle économie » autour de l'Internet justifient que l'on y consacre ici un chapitre pour tenter de clarifier cet aspect du contexte économique et social dans lequel les technologies clés sont susceptibles d'être mobilisées demain.

Alors que les micro-ordinateurs réalisent enfin leur entrée en force dans les foyers, que les panneaux d'affichage sont envahis par la publicité des sites Internet, que l'actualité se nourrit des records boursiers réalisés par les start-up du net, que l'intensité et la durée de la croissance économique défient les prévisionnistes,…, il devient difficile d'échapper à une nouvelle forme de pensée unique annonçant la naissance d'une « nouvelle économie ». A la manière dont les média se sont emparés du discours sur la nouvelle économie, le grand public serait en droit de croire que les pays industrialisés, en l'espace de quelques mois seulement, ont subi une transformation radicale des fondements de leur système économique.
Souvent associée au développement des activités économiques sur Internet, la notion de nouvelle économie est considérée avec circonspection par les économistes. Alors que pour certains, l'épisode actuel de croissance s'explique essentiellement à partir des variables macro-économiques traditionnelles, et ne se distingue pas fondamentalement des autres cycles conjoncturels vécus depuis le premier choc pétrolier, d'autres voient dans les évolutions contemporaines la concrétisation d'une vingtaine d'années de gestation d'une nouvelle révolution industrielle, dont Internet ne constitue que l'avatar le plus récent et le plus spectaculaire.
L'objet de ce chapitre est de réfléchir à la signification qu'il convient de donner au foisonnement d'événements communément associés à l'émergence de cette nouvelle économie. La position que nous défendons est que l'appréhension de cette nouvelle économie doit être effectuée à différents niveaux de profondeur, les manifestations les plus spectaculaires n'étant pas nécessairement les plus éclairantes sur le sens à donner aux évolutions en cours. Schématiquement, nous suggérons d'identifier trois étages dans la « fusée nouvelle économie ». Le premier étage est composé de la **« net-économie** ». Il est le plus visible, celui qui retient le plus l'attention des observateurs, des décideurs et du grand public. Il n'en constitue pas moins la couche sans doute la plus superficielle des transformations associées à la nouvelle économie. Le deuxième étage de la fusée correspond à l'ensemble des **technologies de l'information et de la communication (les TIC**). Les effets de la diffusion de ces technologies dans l'ensemble du système économique et social sont considérables et mènent à une transformation radicale de la manière de produire, de distribuer et de consommer les richesses. Cette grappe technologique constitue le facteur clé d'un nouveau « paradigme techno-économique », d'un nouveau régime de croissance. Le troisième étage de la fusée – probablement celui qui propulse l'ensemble – est beaucoup plus abstrait. Il correspond à l'idée que les moteurs de la croissance économique, ainsi que les ressorts de la compétitivité des entreprises, ont progressivement évolué au cours des dernières décennies au profit de fondements « cognitifs ». Une grande part des mutations intervenues dans le monde économique pourrait ainsi s'interpréter comme manifestant le passage à une « **économie fondée sur la connaissance** ». Interpréter la nouvelle économie comme une économie fondée sur la connaissance revient à reconsidérer nombre de nos catégories d'analyse et à donner aux mutations en cours une signification et des implications beaucoup plus fondamentales que la simple mise en réseau des acteurs au moyen d'Internet.

La naissance de la « net économie »

Le développement d'Internet apparaît d'ores et déjà comme un des événements majeurs de la dernière décennie du XXème siècle. La rapidité de sa diffusion ainsi que l'importance de la force de transformation de nombreux modèles économiques que l'on croyait solidement établis expliquent sans doute pourquoi le discours sur la nouvelle économie est souvent réduit à la naissance de la net-économie.
La rapidité qui caractérise le développement de la net-économie est sans précédent, alors même que ce nouveau secteur se constitue d'emblée à l'échelle planétaire. Quelques indicateurs suffiront à se

convaincre – s'il en était besoin – de la fulgurance de ce mouvement. Parti de presque rien au milieu des années 1990, le nombre des internautes dans le monde en février 2000 a été évalué à près de 275 millions, et le cabinet IDC prévoit qu'ils seront 500 millions en 2003. Rien qu'au cours de l'année 1998, le nombre de sites web a été multiplié par 2,5 et celui du nombre de pages par plus de 4. Entre 1997 et 1999, le montant des transactions réalisées sur Internet a plus que quadruplé. C'est le développement du commerce électronique grand public (« B2C » c'est-à-dire « *Business to Consumers* ») qui retient le plus l'attention des média. Le montant des achats qui ont été ainsi réalisés dans le monde en 1999 est évalué, toujours par IDC, à quelque 24 milliards de dollars. C'est aux Etats-Unis que le commerce électronique (comme l'ensemble de la net-économie) est le plus développé. Pourtant, si l'on exclut du compte les achats de voyages, de billets de spectacles et de services bancaires, les ventes sur Internet ne représentent encore que moins de 1% du total des ventes au détail. Le commerce électronique grand public est l'arbre qui cache la forêt. Les transactions interentreprises (« B2B » c'est-à-dire « *Business to Business* ») représentent près de 80 % du commerce sur Internet. Le cabinet Gartner Group estime le montant du marché B2B à 145 milliards d'euros pour 1999 et prévoit qu'il atteindra 7 300 milliards d'euros en 2004. La rapidité avec laquelle Internet déferle dans la vie économique provoque sa propre accélération : devant l'importance des enjeux, un nombre croissant d'acteurs économiques accélèrent la marche afin de tenter de prendre des positions avant que le jeu ne se referme. Il est devenu commun de considérer qu'une année dans la net-économie correspond à sept années ordinaires…

L'impact d'Internet sur le système économique est considérable. Le réseau des réseaux est tout d'abord à l'origine du développement fulgurant de tout un ensemble d'activités qui lui sont directement associées : entreprises de commerce électronique, fournisseurs d'accès, moteurs de recherche, concepteurs de sites, SSII, sociétés d'études et de mesure d'audience, sociétés de télécoms, de réseaux informatiques, de sécurité sur les réseaux,... Beaucoup de ces activités n'existaient pas il y a encore cinq ans. La plupart d'entre elles sont exercées par de nouvelles entreprises (les fameuses "entreprises Internet"), même si de nombreux acteurs de "l'ancienne économie" s'empressent aujourd'hui de prendre des positions sur ces nouveaux marchés. Internet tire également des activités plus traditionnelles qui trouvent ici de nouvelles opportunités de développement. Les producteurs de "contenus" (audiovisuel, presse,…) sont les plus directement concernés. L'éclosion de la net-économie provoque une ré-allocation brutale des capacités d'investissement ; selon PricewaterhouseCoopers, la net-économie a absorbé pas moins de 56 % des investissements en capital-risque aux Etats-Unis en 1999. Les engagements sont en croissance de 1000 % dans le commerce électronique B2C, de 900 % dans le B2B, de 550 % dans les sociétés d'accès et d'infrastructure,… Les évolutions boursières sont encore plus éloquentes. Selon la maison de titres Salomon Smith Barney, en octobre 1999, la pondération des "TMT" (technologies, médias, télécoms) dans la capitalisation européenne était de 19 %. Elle atteignait 33 % en février 2000[9]...

A l'arrière de la « ligne de front », Internet perturbe profondément les conditions d'exercice de l'activité dans de nombreux secteurs : la banque, la distribution, le commerce de gros, la logistique, le transport aérien,… En abolissant (en apparence seulement) les contraintes liées à la distance physique, en offrant des possibilités immenses d'échanges d'informations très riches en temps réel pour un coût modique, en permettant une très forte réduction des coûts de transaction,…, Internet semble faire évoluer le fonctionnement des marchés vers le fameux modèle de la concurrence pure et parfaite : multiplicité (mais pas nécessairement atomicité) des offreurs et des demandeurs, information (presque) parfaite, rapidité des ajustements,… Le pouvoir économique paraît basculer au profit des acheteurs. Internet porte ainsi en germe une intensification de la concurrence qui provoque le relèvement des exigences de compétitivité auxquelles les entreprises sont soumises. Les marchés sont (ou seront) déstabilisés et les positions concurrentielles redistribuées.

[9] Le Figaro Economie, 26-27 février 2000, p. VI.

Le nouveau « paradigme techno-économique » de l'économie de l'information

La naissance de la net-économie ne constitue que le dernier avatar d'une révolution technologique engagée dès la fin de la Seconde Guerre mondiale autour des technologies de l'information et de la communication. Pour de nombreux analystes, cette grappe de technologies s'est progressivement constituée comme facteur clé d'une nouvelle révolution industrielle, d'un nouveau « paradigme techno-économique » ; elle serait ainsi à la base d'une redéfinition des fondements du système économique et social, porteuse d'un nouveau cycle long de croissance. S'inscrivant dans le droit fil du chapitre consacré à la dynamique de la technologie, cette interprétation se situe dans le courant néo-schumpeterien de l'analyse économique, qui vise notamment à fournir une explication d'ordre technologique aux fameux cycles longs dits de Kondratieff (du nom de l'économiste russe qui les a mis en évidence sur le plan statistique dans le courant des années 20).

L'innovation technologique ponctue plus ou moins régulièrement la vie économique, en fonction des découvertes qui sont réalisées dans le domaine scientifique et des incitations que les firmes ont à innover. Toutes les innovations ne se valent pas : certaines ne sont que des perfectionnements superficiels d'innovations antérieures, d'autres constituent des ruptures radicales ; certaines n'exercent leur impact que sur un nombre limité de domaines d'activité, d'autres ont vocation à exercer une profonde influence sur le système économique ; certaines se suffisent à elles-mêmes, d'autres entraînent dans leur sillage une grappe d'innovations situées dans des champs de savoir connexes et exploitées dans d'autres domaines d'activité. Les technologies de l'information et de la communication ont été porteuses d'une grappe d'innovations radicales, à large diffusion. Elles constituent un véritable « système technique » (au sens de Bertrand Gille), c'est-à-dire un ensemble cohérent de technologies interdépendantes ; les innovations qui interviennent en un certain endroit de cet ensemble appellent et/ou rendent possibles des innovations en d'autres endroits qui, à leur tour suscitent de nouvelles contraintes ou ouvrent de nouvelles opportunités (voir, par exemple, l'étroite imbrication des trajectoires technologiques dans les domaines des microprocesseurs et des systèmes d'exploitation). Mais les technologies de l'information et de la communication ne se contentent pas de former un système technique ; elles sont le point de départ d'un nouveau paradigme techno-économique qui provoque de profondes mutations de l'ensemble du système économique et social.

Selon les économistes néo-schumpeteriens, certaines innovations technologiques sont à l'origine de l'émergence d'un nouveau paradigme techno-économique, en raison de leur propension à irriguer très largement l'ensemble du système économique et à générer une longue phase de croissance. Selon Perez, les moyens de transport à vapeur ont été à la base du second cycle Kondradieff ; ce rôle a été joué par l'acier au cours du troisième Kondratieff et par les matériaux intensifs en énergie et en pétrole au cours du quatrième. Il serait aujourd'hui tenu par la microélectronique.

La phase descendante des cycles de Kondratieff serait la conséquence de l'apparition et de l'approfondissement progressif d'une discordance entre la dynamique du sous-système économique (tirée par l'évolution technologique) et celle du sous-système socio-institutionnel qui témoigne d'une forte inertie, renforcée par la confiance provenant des succès passés. En effet, la révélation du potentiel économique associé au nouveau facteur clé impose de profondes transformations du cadre économique et social correspondant au précédent paradigme techno-économique. La diffusion de la nouvelle grappe technologique doit s'accompagner d'une reconfiguration du stock de capital, du développement de nouvelles qualifications du travail, de nouvelles méthodes de management et d'organisation de la production, de l'établissement de nouvelles relations industrielles, d'une redéfinition de la régulation institutionnelle au niveau national et international. C'est ainsi que peut s'interpréter le recul des gains de productivité et le chômage de masse qui ont marqué les trente dernières années. Le fameux « paradoxe de la productivité » (la diffusion des technologies de l'information ne s'est pas accompagnée d'une reprise significative des gains de productivité) s'expliquerait ainsi par le délai nécessaire à l'adaptation des modes de fonctionnement de l'économie à la nouvelle technologie clé. La reprise économique actuelle serait donc le signe de l'achèvement progressif de cette phase d'adaptation. Le mouvement de déréglementation, les nouvelles pratiques

organisationnelles des entreprises, le renouvellement des modèles de consommation,… ont désormais atteint un degré suffisant de maturité pour que le potentiel de croissance associé aux technologies de l'information se révèle pleinement.

La nouvelle économie s'appuie donc sur un ensemble d'industries motrices (informatique, semi-conducteurs, télécommunications, logiciels, services informatiques,...). Ce secteur composite des technologies de l'information pèse de plus en plus lourd dans l'activité des pays industrialisés. On estime qu'il est aujourd'hui à l'origine de près de 10 % du PIB américain, et sa contribution à la croissance économique est évaluée à environ 17 % depuis 1980. Le poids économique de ce secteur est encore plus important lorsque l'on prend en compte ses effets en chaîne sur l'ensemble de l'économie. Le processus de miniaturisation, d'amélioration des performances (la fameuse « loi de Moore » de doublement des capacités tous les 18 mois) et de baisse continue des prix, a favorisé la diffusion des technologies de l'information dans la plupart des secteurs de l'économie. Les technologies de l'information et de la communication (TIC) ont ainsi atteint un poids considérable dans l'investissement des entreprises ; aux Etats-Unis, ce poids est passé de 7,8 % en moyenne sur la période 1970-1991, à 26,7 % pour 1996-1998. Certains secteurs ont vécu une véritable révolution à la suite de l'intrusion des technologies de l'information dans leur produit ou leur processus de production : machines-outils, automobile, aéronautique, banque-assurance, imprimerie-édition, biotechnologies,… Elles ont créé des opportunités de lancement de nouveaux produits ou d'amélioration très sensible des conditions de production dans de nombreux secteurs « traditionnels » (biens intermédiaires, automobile, électroménager,...). La diffusion des technologies de l'information contribue ainsi activement à la re-dynamisation de la consommation.

Pour autant, l'appréhension de la portée de la nouvelle économie ne peut se limiter aux conséquences du développement d'Internet ; elle consiste plus fondamentalement dans les transformations de la manière de produire, de distribuer et de consommer les richesses qui sont impulsées par la diffusion des technologies de l'information (dont Internet ne constitue qu'un des aspects). Les différentes composantes de la chaîne de valeur des entreprises se trouvent affectées par cette révolution technologique. L'activité productive, au sens étroit du terme, est profondément transformée par la diffusion des biens d'équipement programmables (la « productique », qui trouve son aboutissement dans les systèmes de production intégrés) qui permettent de concilier productivité et flexibilité. Les fonctions tertiaires ont été révolutionnées par la diffusion de la bureautique et de l'informatique de gestion. La possibilité de constituer des « mégabases de données » commerciales participe à la redéfinition des politiques marketing (« marketing relationnel ») et au renouvellement des modalités d'articulation entre l'offre et la demande (personnalisation). En rendant possible une connaissance beaucoup plus fine des conditions de la demande par les entreprises et des conditions de l'offre par les acheteurs, les technologies de l'information permettent un ajustement qualitatif plus fin entre l'offre et la demande et constituent ainsi un puissant facteur de stimulation de la consommation. Les technologies de l'information ont également révolutionné la gestion de la chaîne logistique, invitant les entreprises à penser l'organisation de leurs processus de production de manière globale et à rationaliser la gestion des interfaces entre opérations et entre fonctions. L'intrusion des technologies de l'information à tous les niveaux de l'entreprise a constitué un facteur décisif de réorientation des logiques productives vers l'aval et qui semble déboucher aujourd'hui vers un modèle de « production de masse individualisée » conforme à l'évolution des comportements de consommation. Cette intrusion a également contribué à transformer en profondeur l'organisation du travail dans les entreprises. En rendant possible la suppression de nombre de tâches élémentaires, les technologies de l'information ont activement participé au mouvement d'élévation du niveau moyen de qualification de la main-d'œuvre. En facilitant le partage de l'information et en rendant possibles de nouveaux mécanismes de coordination, elles ont favorisé la transformation des structures organisationnelles en faveur d'une plus grande décentralisation et du développement de la coordination horizontale. La mise en œuvre des stratégies de globalisation par les firmes multinationales (qui consistent à organiser une division internationale du travail entre les unités de la firme à travers le monde) aurait été difficilement concevable sans les nouveaux moyens de coordination offerts par les technologies de l'information.

Les technologies de l'information ont également contribué à la redéfinition des modalités des relations interentreprises. En autorisant une réduction sensible des coûts de transaction, elles ont encouragé le mouvement d'externalisation et de formation de « réseaux d'entreprises ». Les relations au sein de ces réseaux s'écartent de plus en plus du simple échange marchand, ponctuel et anonyme ; elles

impliquent désormais des ajustements mutuels entre les parties, le partage de procédures, qui font que les échanges de biens et services se doublent de flux croissants d'informations : informations commerciales et techniques, mais surtout logistiques et administratives. La diffusion des livraisons en juste-à-temps, par exemple, aurait été inconcevable sans la médiation des technologies de l'information.

Les technologies de l'information semblent donc bien être à la base d'une nouvelle révolution industrielle. Les adversaires de cette interprétation mettent en avant la faible incidence apparente de ce nouveau système technique sur la croissance de la productivité. Il est vrai que si cette dernière a bénéficié d'une certaine reprise au cours de la seconde moitié des années 90, elle demeure très en deçà des niveaux enregistrés au cours des années 50 et 60 dans les pays industrialisés. Plusieurs arguments plaident cependant en faveur d'une interprétation de ce « paradoxe » en termes de délai de gestation, correspondant à la durée du processus d'ajustement des organisations et du cadre institutionnel à la nouvelle donne technologique. En premier lieu, notons les difficultés qu'éprouvent les comptables nationaux à mesurer la croissance de la productivité dans le secteur des services, dont la part dans le PIB est en forte augmentation. Quand elle est mesurée au sein de la seule industrie manufacturière, la croissance de la productivité se révèle beaucoup plus importante. En second lieu, on a pu calculer que, au sein de l'industrie, la croissance de la productivité est nettement plus marquée dans les secteurs utilisateurs d'informatique de bureau que dans les secteurs non utilisateurs. Enfin, notons que l'économie américaine – qui est incontestablement la plus avancée dans la nouvelle économie – bénéficie d'une nette accélération des gains de productivité depuis la fin des années 90.

L'entrée dans une « économie fondée sur la connaissance »

Les technologies de l'information jouent incontestablement un rôle majeur dans la nouvelle économie. Toutefois, leur diffusion spectaculaire occulte un changement plus fondamental encore de l'organisation des activités économiques et qui constitue sans doute la caractéristique la plus profonde de la nouvelle économie : l'entrée dans une « économie fondée sur la connaissance ». Cette expression renvoie au rôle de plus en plus important que l'innovation joue dans la croissance et, plus généralement, dans la structuration de l'économie. Face au ralentissement tendanciel de la demande de ménages qui ont, dans l'ensemble, satisfait leurs besoins primaires, l'innovation apparaît comme le moyen de stimuler la croissance des marchés par l'amélioration des produits existants et la création de nouveaux produits et services. L'innovation est également encouragée par la nécessité pour les firmes occidentales de se démarquer de la concurrence des produits issus des nouveaux pays industrialisés bénéficiant de faibles coûts salariaux.

Les symptômes de cette entrée dans une économie fondée sur la connaissance sont nombreux. L'effort de R&D des pays industrialisés n'a quasiment pas cessé de s'intensifier depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale (aux Etats-Unis, les dépenses de R&D représentaient 1,3 % du PIB des entreprises non financières en 1953-1959 ; cette part s'est élevée à 2,3 % sur la décennie 1980, pour atteindre 2,9 % entre 1990 et 1997). L'OCDE estimait récemment que « l'effort d'investissement en savoir » (dépenses de R&D + dépenses publiques d'enseignement + investissement en logiciels) s'élevait à près de 8 % du PIB des pays membres et aurait connu une croissance moyenne de 2,8 % entre 1985 et 1995. Toujours selon l'OCDE, l'ensemble des industries fondées sur le savoir"[10] était déjà à l'origine de plus de 50 % de la valeur ajoutée des entreprises des pays industrialisés en 1996 (45 % en 1985).

Cette entrée dans une économie fondée sur la connaissance modifie en profondeur les fondements de l'organisation des entreprises et les modalités de leurs relations. L'organisation fordienne des activités économiques était principalement orientée vers la recherche de « l'efficience statique », c'est-à-dire de la maximisation du rendement par le recours à la parcellisation du travail, l'automatisation de la

[10] Ensemble des secteurs producteurs de haute technologie et des secteurs utilisateurs de haute technologie ou utilisateurs de main-d'œuvre très qualifiée.

production, l'exploitation des économies d'échelle associées à une production en grande série… Si l'innovation est, bien sûr, présente dans l'entreprise fordienne, elle ne constitue pas un principe structurant de son organisation. Cantonné au laboratoire de R&D, l'effort d'innovation est circonscrit au sein de l'entreprise. Le renforcement du rôle de l'innovation dans les stratégies concurrentielles, mais aussi le besoin d'améliorer la flexibilité stratégique par le renforcement de la capacité d'apprentissage, ont engendré la diffusion de nouveaux principes organisationnels, davantage orientés vers les compétences de l'entreprise et le développement de son « efficience dynamique » (c'est-à-dire sa capacité à améliorer ses produits et ses procédés de manière continue). Ces nouveaux principes s'incarnent dans des pratiques spécifiques bien identifiables comme la recomposition du travail et l'augmentation de la polyvalence de la main-d'œuvre, le raccourcissement des lignes hiérarchiques et la décentralisation partielle du pouvoir de décision vers ceux qui détiennent l'information pertinente, ou bien l'ingénierie simultanée qui vise à réunir pour les faire avancer en parallèle tous ceux qui sont impliqués dans le processus d'innovation quel que soit le service de rattachement et la position hiérarchique, sans oublier la percée remarquable du « *knowledge management* »… Ils modifient radicalement le statut de travail dans l'entreprise : loin de ne constituer qu'un coût à réduire ou un facteur de rigidité à flexibiliser, il constitue le cœur de la capacité d'apprentissage de l'entreprise, son actif le plus stratégique. Après des années de restructuration et de « lean management », c'est là un changement de perspective considérable.

Au-delà de ces nouvelles pratiques, il semble que nous soyons en train de vivre un véritable déplacement du principe qui sous-tend la division du travail dans la vie économique, au profit d'un fondement cognitif. Afin d'assurer leur compétitivité dans cette économie fondée sur la connaissance, les entreprises sont incitées à définir le contenu de leur activité non plus par rapport à des produits (automobile) ou à des techniques de production (décolletage), mais en référence à des « blocs de savoirs » relativement homogènes auxquels sont arrimées les compétences de l'entreprise (biotechnologies, microélectronique, design de produits de masse,…). La maîtrise de compétences fortes sur ces blocs de savoirs autorise l'entreprise à construire un portefeuille d'activités pouvant comporter des produits en apparence hétérogènes, vendus sur des marchés cloisonnés, faisant appel des processus de production différents, mais qui réclament un même ensemble de savoirs. Cette « spécialisation cognitive » est rendue nécessaire par le besoin de concentrer les ressources de la firme sur le développement de compétences appartenant à un champ suffisamment restreint et homogène. Dans un contexte de concurrence par la course technologique, il s'agit d'une condition pour pouvoir prétendre suivre, ou mieux, participer au progrès des connaissances dans ce champ. Ce souci de spécialisation cognitive est à l'origine d'une proportion importante des nombreuses opérations de restructuration et de recentrage sur le métier principal qui ont été engagées au cours des quinze dernières années par les firmes des pays industrialisés. Un principe de division cognitive du travail se substitue progressivement à la logique technicienne de division du travail associée au modèle taylorien-fordien. Des réseaux d'entreprises se forment pour mener à bien l'articulation de compétences complémentaires permettant d'accélérer encore le rythme des innovations. Les relations entre les entreprises qui composent ces réseaux, qualifiées de partenariales, vont bien au-delà des transactions marchandes ordinaires, ou même de l'intégration logistique qui accompagne la mise en œuvre du juste-à-temps. Les contributions des différents membres du réseau doivent se façonner mutuellement et s'intégrer de manière organique. Seule une étroite coopération, associant dans la durée le fournisseur et son client, est capable d'assurer cette intégration et d'autoriser l'évolution concertée des bases de compétences de chacun afin de permettre l'amélioration continue du produit final.

Conclusion

Les trois étages de la « fusée nouvelle économie » sont naturellement étroitement imbriqués. L'économie fondée sur la connaissance se nourrit des technologies de l'information, qui constituent de formidables auxiliaires à la puissance créatrice du cerveau humain et de puissants vecteurs de diffusion de l'information. Internet – qui est le produit de convergences intervenues au sein des technologies de l'information et de la communication – offre d'ores et déjà d'immenses possibilités en matière de coordination des activités économiques et devrait faciliter le fonctionnement des réseaux d'entreprises mettant en œuvre une division cognitive du travail. En retour, les nouvelles formes d'organisation économique fondées sur les compétences contribuent à l'accélération du rythme du progrès technique, notamment dans le champ des technologies de l'information.

Il existe des risques réels associés à une vision restrictive de la « nouvelle économie », limitée à la net-économie. Certes il est du devoir des acteurs privés et publics de bien prendre la mesure de l'impact d'Internet et d'engager rapidement les actions stratégiques qui s'imposent. Toutefois, la compétitivité à long terme des entreprises et, au-delà, des nations ne saurait se ramener à la vitesse à laquelle les acteurs s'approprient ce nouveau média. Alors que l'information devient pléthorique et que son accès se banalise, plus que jamais la compétitivité repose sur la capacité d'apprentissage et de création des acteurs économiques, laquelle dépend d'une subtile alchimie entre des infrastructures publiques efficaces (recherche, éducation, animation du territoire) et l'expérimentation des nouveaux principes organisationnels dans les entreprises. Ainsi, si Internet et, plus généralement, les technologies de l'information sont incontestablement au cœur de la nouvelle économie, les nouvelles règles du jeu concurrentiel qui lui sont associées appellent la révision d'un certain nombre de principes directeurs des politiques industrielles et technologiques au profit d'une démarche générale visant à accélérer le basculement de nos entreprises, de nos institutions et de notre société dans cette nouvelle économie fondée sur la connaissance.

Dans cette logique, l'exercice Technologies clés 2005, en ce qu'il aide à mieux anticiper les technologies qui sont susceptibles de structurer l'économie de demain, participe bien de la préparation de l'économie fondée sur la connaissance.

I.4 - « Technologies clés 2005 » face aux autres exercices de prospective technologique

Introduction

Depuis plus de trente ans, les travaux de prospective, en particulier de prospective technologique, font partie de la boîte à outils de la réflexion stratégique en entreprise. Dans certains secteurs d'activité civils, sans même parler du militaire, la mise en œuvre de techniques structurées de réflexion sur le futur technologique est devenue une routine.

Cette routine s'est étendue, depuis le début des années 90, aux autorités nationales de nombreux pays à travers le monde. Des exercices nationaux de prospective technologique ont été menés en nombre croissant, avec une accélération ces cinq dernières années, au cours desquelles une vingtaine d'exercices peuvent être recensés :

3 ont été achevés en 1995
2 en 1996
2 en 1997
7 en 1998
6 entre 1999 et 2000.

Cette montée en puissance du nombre d'exercices nationaux de prospective technologique s'est accompagnée d'une diversité croissante des caractéristiques de chacun d'entre eux.
Cette diversité porte à la fois sur les objectifs et sur les méthodes mises en œuvre pour les atteindre.

Deux familles d'objectifs distincts

Certains exercices (Irlande 1998, Australie 1997, Nouvelle Zélande 1998, Allemagne 1998, Autriche 1998 et encore Grande-Bretagne 1995) ont placé au cœur de leurs préoccupations **l'élaboration d'une vision des futurs technologiques possibles partagée par le plus grand nombre d'acteurs**. L'idée clé de ces exercices est que le processus d'élaboration d'une telle vision commune force l'ensemble des acteurs, parties prenantes de l'exercice, à aligner progressivement leur opinion, favorisant ainsi le passage ultérieur à l'action.
Ils se caractérisent par un processus hautement participatif, au cours duquel l'exercice cherche à mobiliser non seulement des experts sectoriels mais également les différents types de groupes d'intérêts existant au niveau national voire parfois régional.
Bien sûr, les objectifs stratégiques d'une nation ne peuvent se résumer à la collection des intérêts particuliers de chacun de ces groupes. La vision partagée se doit d'être une vision collective. Elle permet cependant d'assurer une complémentarité minimale entre les actions mises en œuvre par les pouvoirs publics à la suite de l'exercice et les décisions stratégiques des firmes les plus importantes et des principaux groupes d'intérêts à travers le pays. Elle permet également de développer et d'entretenir à tous les niveaux une culture prospective.

Différentes méthodes sont mises en œuvre afin d'élaborer une telle vision collective. La plus fréquente est la méthode des scénarii. En Irlande (Irlande 1998), des scénarii ont été développés afin de nourrir les travaux de panels d'experts. Ces scénarii ont été utilisés afin de tester la pertinence des résultats de panels sectoriels travaillant sur les technologies spécifiques à chacun. Le processus d'élaboration de la vision a été ainsi utilisé pour « cadrer » les panels plus que pour élaborer une vision unique du futur technologique du pays.
En Nouvelle-Zélande, des scénarii très larges ont été construits afin de tracer une vision de l'avenir du pays dans son ensemble. Ils ont servi de matière première au processus de débat et de discussion large qui a précédé l'élaboration de stratégies technologiques sectorielles.

Une autre méthode également utilisée consiste à élaborer, à travers un processus de type Delphi[11], des « Méga-tendances », qui représentent une vision plus ou moins partagée du contexte de développement et de déploiement de la science et de la technologie au sein de la société dans son ensemble. Ces « Méga-tendances » peuvent se présenter sous la forme d'affirmations telles que (Allemagne 1998) :

la faible natalité et l'espérance de vie croissante conduiront les pays industrialisés à une population dont plus du tiers aura plus de 60 ans ;

l'Union Européenne développera un gouvernement européen qui prendra le pas sur les gouvernements nationaux ;

la globalisation de l'économie conduit à une perte d'importance des politiques économiques nationales ;

…

Chacune de ces affirmations est caractérisée par un taux d'accord et de désaccord ainsi que par un horizon de réalisation.
Là encore, l'important se situe plus dans le processus mis en œuvre afin d'élaborer et de caractériser ces différentes affirmations que dans le résultat, même s'il est ensuite utilisé afin de nourrir des travaux sectoriels et thématiques à base de panels ou d'interviews d'experts.

Chacun de ces exercices permet donc d'identifier les priorités communes à plusieurs ou à tous les panels en considérant qu'un enjeu technologique transversal est par nature plus important qu'un enjeu relatif à un seul secteur. Certains des exercices mentionnés ci-dessus ont néanmoins, en complément, également identifié des domaines technologiques spécifiques à tel ou tel secteur.

Au total, la caractéristique commune à ce premier groupe d'exercices est dont de privilégier la mobilisation voire la création de réseaux aux fins d'élaboration d'une vision partagée du futur qui peut être ensuite déclinée sectoriellement.

D'autres exercices de prospective technologique (USA 1995 et 1998, France 1995 ainsi que le présent exercice, Italie 1996, Pays-Bas 1998) ont eu **un tout autre objectif**, celui **d'élaborer des priorités** qui ont pour vocation d'éclairer les décisions à venir en particulier dans la sphère publique, quoique pas uniquement.
La principale méthode utilisée, la méthode des « Technologies Clés », consiste en la sélection de technologies prioritaires, les « Technologies Clés ». Elles sont retenues le plus souvent après avoir évalué de longues listes de technologies sur la base de différents ensembles de critères.
La première étape de cette méthode, la génération des premières listes de technologies, varie d'un pays à l'autre. Ainsi, aux Etats-Unis, la liste initiale résulte d'une compilation de diverses listes de technologies critiques développées par différents organismes publics (Ministères du Commerce, de la Défense, de l'Energie, NASA, …). La liste néerlandaise est basée sur une compilation de l'ensemble des exercices de prospective technologique menés de par le monde. La liste italienne s'appuie sur une typologie du Centre de Politique Technologique et de Développement Industriel du MIT. Enfin la liste française résulte d'une combinaison d'un travail de « brainstorming » mené au sein des panels et de recherches bibliographiques.
Les ensembles de critères varient également d'un pays à l'autre. Aux Etats-Unis, une technologie a été considérée comme critique dès lors qu'elle remplissait au moins un des 5 critères relatifs à la Prospérité Economique ou l'un des 3 relatifs à la Sécurité Nationale. Aux Pays-Bas, les technologies ont été évaluées sur la base d'une approche quantitative complexe. A partir d'une liste de 46 domaines

[11] La méthode Delphi consiste en une interrogation d'experts par itérations successives d'un même questionnaire. Chaque expert donne, lors de la première itération, son opinion sur différentes questions. Lors des itérations suivantes, la distribution des opinions de l'ensemble des experts sur chaque question lui est fournie et il lui est demandé de confirmer son opinion ou de la modifier à la lumière des réponses des autres experts. L'objectif est de construire progressivement un consensus sur chaque question au moyen de ces itérations successives.

technologiques et de 22 domaines d'activités représentant les secteurs économiques, l'importance de chaque domaine pour chaque secteur était notée (entre 0 et 3) sur la base d'interviews. La moyenne pondérée des résultats a permis de calculer un index de la contribution relative de chaque domaine technologique au développement de l'avantage compétitif de chaque secteur puis de l'économie néerlandaise dans son ensemble. Un deuxième index de « valeur économique » permettait de représenter l'importance économique de chaque domaine technologique pour l'économie néerlandaise. Quinze technologies stratégiques, qui ont obtenu les meilleurs scores sur chacun de ces deux index, ont ainsi été retenues.
Les exercices français, tant en 1995 que dans la présente mise à jour, mais également irlandais (1998), néo-zélandais (1998) et australien (1997) se sont appuyés sur une évaluation qualitative de différents critères au sein de panels ou de groupes élargis soit par des questionnaires, soit par des discussions plus ou moins formalisées.
Ces approches plus technologiques, organisées autour de regroupements de secteurs d'activité, ont néanmoins tendance à construire des « cheminées sectorielles ». Il leur est plus difficile de mettre en évidence les contributions de technologies identifiées au sein d'un panel sectoriel aux autres secteurs.

Au total, la caractéristique commune de ce second type d'exercices est d'une part d'avoir pour objectif de produire un rapport mettant en exergue les technologies retenues, d'autre part de formuler plus ou moins explicitement des recommandations pour l'action publique.

Trois dilemmes récurrents pour les responsables de ces travaux

A l'instar de l'exercice français précédant (TC 2000), la plupart des travaux de prospective technologique recensés se heurtent à trois types de dilemmes :

1. **L'étendue de la mobilisation des experts**
   Une mobilisation large, cohérente avec des objectifs d'élaboration d'une vision partagée rend moins efficace, voire moins pertinente, la production de listes de technologies. A contrario, l'appui sur des panels d'experts, restreints par construction, ne permet pas véritablement un large partage du processus prospectif, gage pourtant de sa permanence au sein d'une nation. Cette faible mobilisation avait pu être reprochée à l'exercice TC 2000. Le présent exercice (TC 2005) a cherché à marier les deux approches. Tout en privilégiant l'utilisation de panels d'experts, pour leur efficacité à produire des listes de technologies clés, il a fait un pas dans la direction d'un élargissement en proposant un site web qui a bien fonctionné pour diffuser l'information sur le travail en cours, avec un nombre important de visites, même s'il n'a pas encore permis la création de ces groupes de discussion virtuels. Au-delà, TC 2005 a mobilisé non seulement 100 experts au sein de groupes de travail, mais a également fait appel à des panels élargis pour évaluer les technologies. Au total, plus de 600 experts ont été touchés à travers des questionnaires et le forum Internet.

2. **La question de la transversalité des technologies**
   Au cours de l'exercice TC 2000, une attention insuffisante a pu être consacrée aux interactions entre les 136 technologies identifiées. Comme déjà évoqué, le travail a principalement été conduit « en cheminées », c'est-à-dire dans le cadre du découpage retenu en secteurs et en familles technologiques. La définition des priorités relatives entre ces technologies a ainsi été imparfaite.
   Les approches plus larges (à l'image de l'exercice britannique), parce qu'elles mettent en avant des éléments de politique générale, par nature transversaux, résolvent ce problème en le prenant par en haut.
   Elles ont cependant des difficultés à générer une vision exhaustive des technologies à développer et ont a fortiori du mal à cerner la contribution potentielle de ces technologies à chacun des secteurs d'activité concernés.

L'exercice TC 2005 a cherché à résoudre ce problème en le traitant explicitement dès le début (voir chapitre suivant) par la mise en place d'un groupe de travail spécifiquement dédié à cette question.

3. La prise en compte de la demande

Au cours de l'exercice TC 2000, si la perspective de la demande avait été prise en compte dans la démarche de l'étude, les résultats en avaient finalement peu rendu compte. Le rapport final avait privilégié l'offre, conduisant ainsi à une prospective technologique insuffisamment nourrie d'une réflexion conjointe sur les attentes des marchés. Au cours des exercices menés à l'étranger, cette question n'est que partiellement résolue par le recours à des scénarii prospectifs larges. Les attentes des marchés et des consommateurs sont cependant réputés être intégrés lorsque le travail s'appuie sur des débats organisés à l'échelle nationale ou régionale et qui mobilisent non seulement des représentants de l'offre scientifique et technique et des entreprises mais également des organisations représentant la demande (associations de consommateurs, sociologues, organisations professionnelles de secteurs utilisateurs,…).

Le recours à une réflexion spécifique concernant la demande et présentée en début de travail à chaque panel d'expert comme une contribution à leur réflexion, a permis une meilleure prise en compte de la demande dans le présent exercice.

Trois enjeux pour l'avenir

Les questions méthodologiques évoquées ci-dessus ne sont certes pas définitivement résolues, et il est certain que les prochains exercices menés en France et à l'étranger permettront encore de progresser.

Néanmoins, au-delà de ces questions, d'autres enjeux apparaissent.

Le **premier enjeu** pour l'ensemble des exercices nationaux de prospective technologique, qu'ils aient vocation à construire des réseaux et à générer un processus ou qu'ils aient pour objectif de produire des listes de technologies aux fins d'action publique, est certainement de **structurer un lien avec le niveau régional**.

L'importance croissante du niveau régional au sein de l'Union Européenne en matière de développement économique et de politique d'innovation amène les pouvoirs publics régionaux à se soucier de plus en plus de prospective. Les exercices nationaux sont cependant le plus souvent très difficilement utilisables en tant que tels. Certains, tels l'exercice britannique ont néanmoins cherché à intégrer la dimension régionale en organisant des séminaires et des conférences régionaux. L'objectif était de collecter des messages et des thématiques pertinents au niveau d'une économie régionale et de diffuser de l'information sur les travaux menés au plan national. En Espagne et en Allemagne également quelques expériences ont été menées au plan régional. Ces tentatives restent clairsemées.

Un réseau européen[12] unissant des spécialistes de prospective technologique et des pouvoirs publics régionaux vient d'être lancé sur cette question. Son objectif est de promouvoir une meilleure articulation entre exercices nationaux et besoins régionaux ainsi que le développement de l'utilisation de processus de prospective dans la réflexion stratégique régionale.

Un **deuxième enjeu porte sur la conception même des exercices de prospective technologique**. Très clairement, les exercices les plus récents, à l'instar de TC 2005, cherchent tous à raccourcir la durée du travail d'exploration prospective afin de mieux répondre aux attentes des entreprises et rester en phase avec des cycles économiques de plus en plus rapides.

En même temps, se pose la question de la mise en place d'un processus continu : les exercices de prospective doivent-ils avoir une durée limitée dans le temps et alors être périodiquement mis à jour,

[12] Ce réseau (FOREN) est mené conjointement par l'Institut de Prospective Technologique de la Commission Européenne (IPTS) et CM International (France)

ou doivent-ils être structurés autour d'un processus continu, avec éventuellement des moments de mobilisation et de formalisation de la production plus intenses ?
Ainsi, en juin 1999, l'Allemagne a lancé un projet appelé FUTUR qui a été conçu « non pas comme une action de court terme, mais comme un processus continu d'élaboration de consensus concernant des questions d'importance vitale pour le futur de l'Allemagne »[13]. Aux Etats-Unis également, l'ancien Institut des Technologies Critiques de la RAND Corporation, devenu l'Institut de Politique Scientifique et Technologique appelle au remplacement des exercices limités dans le temps au profit d'exercice conçus comme une série de groupes de travail virtuels fonctionnant en continu.
L'exercice TC 2005 a fait un pas dans cette direction par rapport à l'exercice précédent. D'ailleurs un des groupes thématiques (Conception – Production – Gestion) a généré un prolongement en un groupe de travail plus pérenne, au-delà de TC 2005.

Enfin, **un dernier enjeu porte sur l'extension de la notion de technologie**. Les premiers exercices, au début des années 90, retenaient une définition très restrictive de la technologie, au sens le plus « dur » du terme. Certains des exercices les plus récents adoptent des définitions beaucoup plus larges, aussi bien en incorporant des domaines plus « mous » tels que le marketing, les technologies organisationnelles qu'en mettant en avant des fonctions voire des usages critiques.
Autant l'extension vers des domaines plus « mous » s'impose progressivement dans tous les exercices, autant la question de la granulométrie (c'est-à-dire du bon niveau de nomenclature auquel se situer pour décrire les technologies clés) continue à se poser partout.
Un équilibre doit clairement être trouvé. D'un côté, définir des priorités technologiques uniquement sous forme de domaines potentiellement utilisateurs, voire de fonctions pose des problèmes pour l'action publique ; d'un autre côté, se restreindre à des technologies identifiées à partir de domaines scientifiques et techniques fait courir le risque d'ignorer le développement d'objets ou de fonctions nouvelles telles que l'Internet, ou son corollaire le commerce électronique, ou encore les technologies assumant des fonctions complexes de coordination.
Là encore l'exercice TC 2005 a cherché à innover en proposant une grille de lecture et donc une gestion de cet équilibre. C'est précisément cette grille de caractérisation des technologies qui fait l'objet du prochain chapitre.

[13] Dr. Hack, BMBF, Allemagne

I.5 – Caractérisation des technologies clés retenues

La grille de caractérisation des technologies clés retenues

La présentation du concept

En réfléchissant à la nature d'une technologie clé, il est apparu que ce concept se situait au point de rencontre de deux approches : la première, scientifique et technique, permet par la maîtrise d'un domaine technique plus ou moins ample, de résoudre une difficulté identifiée et donc d'apporter un élément complémentaire de compétitivité à ceux qui seraient à même de bénéficier de cette avancée ; la seconde approche, de nature économique, est celle qui permet la réponse à un besoin par la mise en application de cette avancée technologique par des entreprises au contact de marchés dont elles s'efforcent de contrôler des parts croissantes.
Dans un premier temps, une approche matricielle croisant les deux perspectives a été tentée. La complexité du résultat obtenu a fait choisir une approche plus linéaire : la technologie clé devient alors la *charnière* dans la chaîne complexe d'acteurs qui relie les experts d'un domaine scientifique aux responsables d'une entreprise de nature économique.

La double arborescence

Il est donc proposé de considérer que chaque technologie clé se trouve au confluent de deux arborescences qui, d'une part, la caractérisent du fait de leur spécificité et, d'autre part, constituent la source d'avantages compétitifs majeurs :

- La première arborescence est d'ordre scientifique et technique : un premier niveau de l'arborescence correspond au(x) problème(s) critique(s) d'ordre technologique (et pour certains, d'ordre non purement technique) qu'il a fallu, ou qu'il faudra vaincre pour faire émerger cette technologie clé ; un second niveau correspond au(x) domaines(s) scientifique(s) concernés. Cette première approche sommaire, de principe, pourrait être affinée par la multiplication éventuelle des niveaux pertinents à considérer et à préciser par des exemples de spécificités. Le niveau intermédiaire des spécialités qui correspond à la description des compétences des chercheurs du domaine pourrait être ainsi introduit.
- La deuxième arborescence relève des fonctionnalités : le premier niveau est alors celui de la fonction, c'est-à-dire du besoin générique rempli par la technologie clé ; le second correspond aux usages qui peuvent être variés, au dernier niveau se trouvent les secteurs d'applications dans lesquels s'inscrivent ces usages et donc l'utilisation de ces technologies.

Un exemple de chaînage

On peut illustrer cette proposition sur un premier exemple :

Secteur d'application	Exemple d'usage	Fonction remplie	Technologie	Point techno-critique	Domaines scientifiques concernés
Cosmétique pharmacie pollution déchets	dosage, médicament confinement éléments polluants	diffusion contrôlée confinement contrôlé	**micro encapsulation**	molécules cages	***Chimie*** moléculaire

Ainsi, la technologie clé de la micro encapsulation relève-t-elle de la mise au point de « molécules cages » ; et celle-ci mobilise les compétences scientifiques des laboratoires de chimie moléculaire. De l'autre côté, on voit que cette technologie permet de s'attaquer, d'une part, au problème de la diffusion

contrôlée susceptible d'être exploitée dans des applications de la pharmacie (diffusion des médicaments), de l'agroalimentaire ou du textile… et, d'autre part, au problème du confinement contrôlé et donc à la résolution de problèmes de pollution ou de traitement de déchets (notamment nucléaires).

Autres exemples

Secteurs d'application	Exemple d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points techno critiques	Domaines scientifiques concernés
Cosmétique, Pharmacie, Pollution…	Dosage, médicament …	Diffusion contrôlée, confinement	**Micro encapsulation**	Molécules cages	Chimie moléculaire
Biens d'équipement et consommation	Electroménager, automobile	Assemblage	Collage	**Polymères stables**	Physico chimie des interfaces
Chimie Environnement	Eau potable	Filtration	**Membrane**	Coût de production	Chimie des matériaux
Santé, Equipement Armement	Tél mobile, stimulateurs cardiaques	Microcapteurs Microactionneurs	**Microsystèmes**	Microgravure Couches minces Connectique	Physique du solide Optique Physique-Chimie des Interfaces
Habitat Transport	Automobile Elecroménager	**Réduction des bruits**	Technologies de réduction des bruits (!)	Matériaux absorbants Antibruits Design techn/coût	Physique vibratoire

L'intérêt d'une telle grille

Cette grille présente plusieurs intérêts potentiels :

Vers une typologie des technologies clés

Cette grille pourrait permettre de définir une typologie des technologies clés car, à l'évidence, il en est de différentes natures :

- un premier élément de différenciation tient au caractère plus ou moins linéaire ou, au contraire, plus ou moins foisonnant de l'arborescence. Si, des deux côtés, la technologie clé est linéaire, on se trouve devant une technologie clé ponctuelle, qui vaut essentiellement par elle-même ; par exemple, la carte à puce. Si elle est en arborescence touffue du côté de la fonctionnalité, son impact économique risque d'être important, en terme de compétitivité économique ; si elle est en arborescence touffue du seul côté du domaine scientifique, son impact risque d'être important en terme de transversalité. Si elle est en arborescence des deux côtés, on se trouve devant une technologie lourde de conséquences, tant du fait de sa transversalité que de son impact économique ;
- un second élément de différenciation tient à la nature de la case « basique » : parmi les six cases qui définissent, de la sorte, une technologie clé, les trois cases centrales sont celles qui jouent un rôle crucial pour la technologie. Mais le cas de la *réduction des bruits* montre bien que cet aspect critique de la technologie peut provenir de la case centrale et se déplacer soit vers la fonctionnalité

ou, à l'inverse, vers la pure technique voire la science, comme cela semble être le cas pour le micro encapsulage ou le collage. On pourrait ainsi être amené, selon l'emplacement du curseur, à distinguer des technologies clés à caractère plus fonctionnel, et donc plus économique – celles dont le point crucial est déplacé vers la gauche, pour lesquelles le terme de technologie clé pourra sembler abusif, car on devrait sans doute parler de fonction-clé – et celle à caractère plus scientifique – celle où il se déporte vers la droite de la grille.

Un élément d'appréciation du caractère clé d'une technologie

Le foisonnement plus ou moins accentué des deux arborescences peut être considéré comme un des critères d'appréciation du caractère effectivement clé de la technologie concernée. Dans les choix successifs qui ont permis de passer de 600 à 150 technologies, ce critère a été ainsi exploité en complément des grilles d'appréciation des « attraits » ou des « atouts » de ces diverses technologies.

L'appréciation du niveau de finesse dans la définition d'une technologie clé, c'est-à-dire de sa granulométrie

Les trois cases centrales de la ligne définissant une technologie permettent de disposer d'un zoom quasi immédiat qui définit le juste niveau de « granulométrie » à prendre en considération, tout en préservant la mise en perspective qu'assure le bon usage de cette grille. Un des intérêts de cette grille est de permettre d'échapper à la tentation de définir une norme standard de granulométrie applicable à toutes les technologies clés quelles qu'elles soient. En outre, l'utilisation des termes « notamment » et « en particulier » permet de souligner le point technologique critique, le verrou à lever ou encore de spécifier des exemples d'usage les plus pertinents.

Le repérage des transversalités

Deux approches de la transversalité ont été éprouvées au cours de ce processus d'identification des technologies clés :

- la première approche est la plus évidente : deux groupes thématiques mettent en avant la même approche technologique. On se trouve alors devant une sorte de doublon significatif de l'appartenance d'une technologie clé à deux disciplines distinctes. Un travail de croisement matriciel a été fait à cet égard qui a permis d'éliminer les doubles (voire triples et même quadruples) comptes ; tout en mentionnant l'existence de ces doublons à travers l'affectation d'une même technologie clé à plusieurs thèmes, la présentation de chaque technologie clé est organisée par un système de renvois qui évite de traiter deux fois la même technologie ;
- la seconde approche est sans doute la plus prometteuse du fait de ses conséquences : elle concerne les croisements interdisciplinaires qui débouchent souvent sur une multiplication des applications voire même sur des ruptures technologiques. Une analyse pourrait être conduite à partir des grilles de caractérisation des technologies clés retenues pour déterminer les recoupements rendus apparents au niveau des colonnes correspondant aux fonctions remplies, aux technologies ponctuelles ou aux points critiques. A cette fin et pour les « items » qui le justifient, il convient de procéder à un exercice simple de double effet miroir :
    - lorsque l'item a été exprimé sous la forme d'une fonctionnalité, s'astreindre à repérer les principales technologies susceptibles de satisfaire cette fonction (et voir en retour si ces technologies ne satisfont pas d'autres fonctions au moins aussi importantes) ;
    - lorsque l'item a été exprimé sous la forme d'une technologie, expliciter la ou les fonctionnalités principales concernées (et voir en retour si d'autres technologies pourraient satisfaire ces besoins et être au moins aussi importantes).

Au total, la description d'une technologie clé selon les six catégories de la grille (secteur d'application / exemple d'usage / fonctionnalité remplie / technologie / points technologiques critiques / domaines scientifiques concernés) permet de clarifier la nomenclature et la nature des technologies clés présentées.

Les fiches de synthèse présentant les différentes technologies en troisième partie utilisent toutes concrètement cette grille.
Si le niveau d'approfondissement de l'analyse varie inévitablement d'une fiche à l'autre, il est toutefois clair que chacun peut s'approprier la grille pour prolonger et préciser l'analyse suivant les rubriques qui l'intéressent plus particulièrement et qui lui paraîtraient incomplètes. C'est là toute l'utilité de l'outil.

Le prochain chapitre décrit comment le travail de repérage, de sélection et de caractérisation des technologies clés 2005 a été conduit.

I.6 – Méthodologie de l'étude

La réflexion Technologies clés 2005 visait à réactualiser l'étude parue en juillet 1995 et qui avait pour titre : « Les 100 technologies clés pour l'industrie française à l'horizon 2000 ».

Tout comme pour l'exercice précédent, il s'agissait de répondre à trois questions essentielles :
- quelles sont les technologies importantes pour l'industrie française ?
- quelle est la position française sur ces technologies ?
- quelles doivent être, en conséquence, les priorités technologiques ?

Les technologies clés 2005 constituent le résultat de cet exercice et correspondent aux technologies qui ont été retenues comme prioritaires pour la France.

Voici la démarche et l'organisation du travail qui ont été adoptées pour ce faire.

La conduite du projet

Le projet « Technologies clés 2005 » a été supervisé par un Comité de pilotage, composé de représentants du monde de l'industrie et de la recherche ainsi que des principales administrations parties prenantes du développement technologique en France. Ce Comité était présidé par Jean JACQUIN, Président du conseil de surveillance d'Auriga. Les noms des autres membres de ce Comité sont donnés en annexe.

Au-delà du suivi de la bonne exécution du projet, ce Comité était chargé d'arrêter la liste définitive des technologies clés et de proposer les priorités et recommandations qu'il jugeait utile de formuler.

Suite à un appel à proposition du Secrétariat d'Etat à l'Industrie, l'animation et la mise en œuvre du projet ont été confiées à un consortium conduit par le cabinet de conseil en management CM International et placé sous la direction de Thomas DURAND.

CM International a mobilisé cinq partenaires au sein du consortium : la Cité des Sciences et de l'Industrie / La Fondation Villette Entreprise, Innovation 128, le Crédoc, Central Cast et MCN Conseils.

Au sein du Secrétariat d'Etat à l'Industrie, le projet a été piloté par l'Observatoire des Technologies Stratégiques (OTS).

Les principes généraux et l'organisation du projet

Le champ couvert

Le champ couvert est l'ensemble du champ industriel. Ce sont les besoins technologiques de tous les secteurs, sans aucune exclusive, qui ont été analysés. Toutefois, les technologies relevant essentiellement du domaine de la défense n'ont pas été prises en compte dans cette étude. Seules les technologies dites duales ont été considérées comme pouvant être des technologies clés.

Après de nombreux débats, le champ a été divisé en huit grandes thématiques qui correspondent aux groupes de travail mis en place pour identifier les technologies :

- technologies du vivant, santé, agroalimentaire ;
- technologies de l'information et de la communication ;
- matériaux, chimie ;
- environnement, énergie ;
- construction, infrastructure ;
- transport, aéronautique ;
- biens et services de consommation ;
- technologies et méthodes de conception, production, gestion.

Pour rester cohérent avec l'exercice précédent, les technologies retenues dans le cadre de cette réflexion sont susceptibles, selon les experts, de diffuser au niveau industriel à horizon de 5 ans (2005).

Une démarche collective

La démarche a visé à impliquer la diversité des acteurs du monde de la recherche et du développement technologique : entreprises, centres techniques, recherche publique, sociétés de recherche sous contrat (SRC), réseaux de diffusion technologique, pouvoirs publics. Elle a par ce biais cherché à croiser des approches différentes axées sur les besoins des marchés, les progrès scientifiques probables et les opportunités technologiques. La liste des membres des groupes de travail témoigne de ce souci (voir en annexe).

Deux « cercles » d'expertise

L'exercice précédent (TC 2000) a mis en évidence la difficulté de conduire une réflexion collective à partir d'un groupe de travail numériquement trop important. Aussi, le cahier des charges de l'étude avait fixé à 12 le nombre maximum d'experts par groupe thématique. Ces experts répartis au sein des 8 groupes ont été désignés par le vocable d'*experts du premier cercle* (une centaine de personnes).

De façon à accroître l'expertise, et d'une certaine manière de marier efficacité avec pluralité, il a été décidé d'accroître le nombre d'experts impliqués en créant un deuxième niveau d'expertise que l'on a désigné sous le terme d'*experts du deuxième cercle*. Ces experts ont été mobilisés soit par courrier à travers des questionnaires soit à travers des forums sur Internet. Une partie de ces experts a été cooptée par les membres des groupes de travail, l'autre partie étant composée des personnes s'inscrivant sur le

site « Techno-cles2005.com ». Afin de garantir la qualité des interventions, il a été institué un contrôle d'accès par mot de passe et une procédure de modération des débats.

Neuf forums permettaient l'interaction entre les experts des deux cercles. Huit de ces forums portaient sur les thèmes des groupes de travail, le neuvième était relatif à des questions transversales.

Si l'essentiel du travail d'analyse se faisait au sein des groupes de travail, on attendait des experts du second cercle qu'ils réagissent aux travaux des groupes et qu'ils apportent une vision complémentaire et critique à ces travaux.

Au total, plus de 600 personnes ont été touchées par les questionnaires et un nombre équivalent s'est inscrit sur le site Internet.

Le groupe « interactivité – qualité »

Aux 8 groupes thématiques s'est rajouté un neuvième groupe : le groupe « interactivité – qualité ». Celui-ci avait pour vocation de promouvoir une réflexion sur la transversalité et l'interconnexion entre les technologies, tout en étant le garant de la cohérence et de la qualité du travail des groupes thématiques.

Ce groupe était composé de 10 personnes, indépendantes des groupes de travail. Il était animé par M. Claude Neuschwander.

En portant un regard extérieur sur les travaux des groupes thématiques, en repositionnant entre eux les divers résultats intermédiaires, ce groupe a enrichi de façon conséquente le résultat global de l'étude, notamment en définissant la grille d'analyse et de caractérisation de chacune des technologies clés.

Le déroulement du projet

L'exercice s'est déroulé sur un peu plus d'une année de mars 1999 à avril 2000. Il était structuré en trois phases :

1ère phase : l'initialisation

L'objectif était de préparer les travaux des phases suivantes, notamment de choisir et de solliciter les experts pour participer aux groupes de travail et de rédiger des dossiers thématiques pour chaque groupe : les dossiers « demande » étant réalisés par le Crédoc, les dossiers « technologies » par Innovation 128.

2ème phase : l'identification des technologies clés et l'appréciation de la position française

Cette phase a été organisée autour d'un travail en réunions, d'une demi-journée chacune, des 8 groupes thématiques. La plupart des experts des groupes se sont retrouvés au moins 4 fois.

Quatre étapes se sont succédées :

Etape 1 : recensement des technologies « candidates » pour être clés.

Etape 2 : première sélection des technologies sur la base d'une analyse des attraits des technologies « candidates ». Cette sélection a permis d'obtenir une première liste de technologies dites importantes.

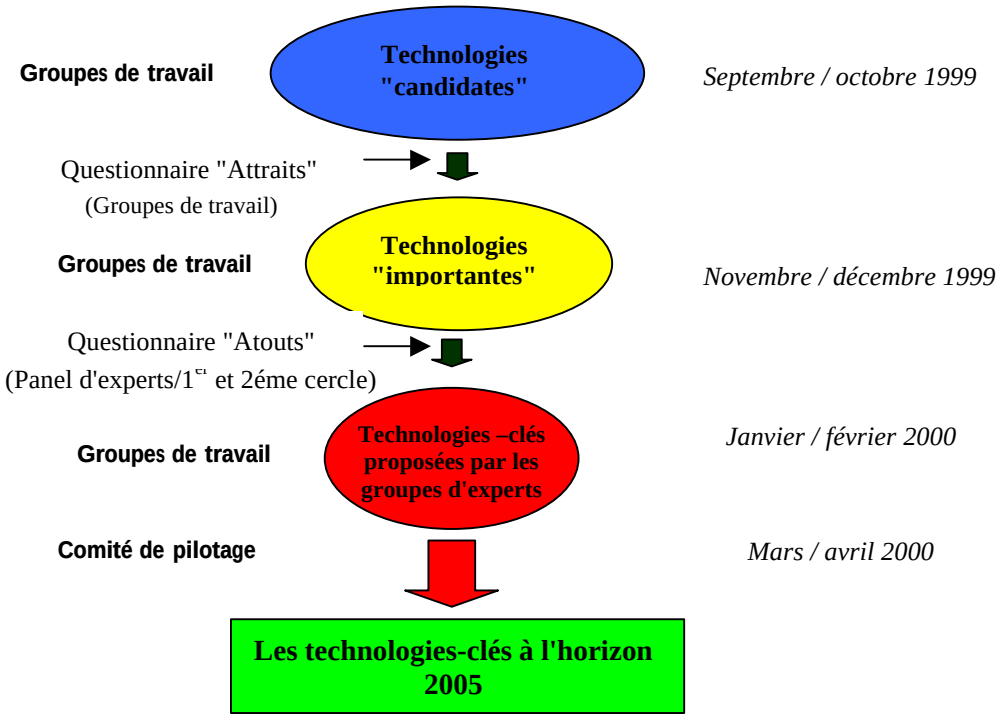
Etape 3 : deuxième sélection des technologies par l'évaluation des atouts de la France et de l'Europe et des conditions de succès.

Etape 4 : sur la base du second tamis (étape 3), proposition de la liste des technologies clés pour chaque groupe et caractérisation de ces technologies à l'aide de la grille proposée par le groupe Interactivité – Qualité et présentée au chapitre I.5.

3ème phase : la définition des priorités, la synthèse et les recommandations

A partir des travaux des groupes de travail, et notamment des listes des technologies clés proposées, le Comité de pilotage a sélectionné la liste définitive des technologies clés pour l'industrie française à l'horizon 2005. Il a également fait un certain nombre de propositions concrètes en matière de développement technologique.

Le schéma suivant permet de mieux visualiser ce processus de repérage et de sélection :



4 - Les critères de sélection des technologies

La sélection des technologies clés s'est donc faite à partir de deux types de questionnaires :

- un premier questionnaire relatif aux attraits de la technologie, qui a été adressé aux seuls experts des groupes de travail ;
- un deuxième questionnaire concernant les atouts de la France (et de l'Europe) et les conditions de succès. Ce questionnaire a été envoyé à l'ensemble des experts du premier et du second cercle, en fonction de leur domaine de compétence.

Les critères d'attraits de la technologie

Cinq familles de critères ont été analysées :

- Enjeux industriels et économiques
  - potentiel de marchés actuels et futurs
  - construction / consolidation d'une position concurrentielle
  - capacité de diffusion dans le tissu industriel
  - propension de la technologie à générer des baisses de coût et/ou des productions de masse

- Enjeux environnementaux
  - développement durable
  - maîtrise de l'énergie, préservation des ressources
  - maîtrise des effluents et rejets
  - risque d'effet négatif

- Enjeux sociétaux
  - santé, sécurité alimentaire, hygiène
  - vieillissement de la population
  - culture, éducation formation
  - risque d'effet négatif

- Enjeux nationaux et européens
  - sécurité, défense
  - souveraineté
  - risque de dépendance industrielle
  - sécurité d'approvisionnement

- Dynamique des technologies
  - levée d'un verrou technologique
  - recombinaison avec d'autres technologies
  - appropriabilité collective des technologies
  - effet retour sur la recherche

Les critères d'atouts et les conditions de succès

Cette analyse a conduit à évaluer la position de la France et de l'Europe du point de vue scientifique et technique d'une part et industriel et commercial d'autre part.
Ce positionnement global résulte d'une évaluation prenant en compte les atouts nationaux et européens.

- Atouts scientifiques et techniques
  - existence d'une compétence scientifique et d'un potentiel R&D
  - maîtrise de la technologie et des technologies connexes ou concurrentes
  - existence d'un environnement favorable : dispositif de formation, réseaux de transfert de technologie et d'assistance technique
  - existence de partenariats : intensité des partenariats noués entre partenaires français et européens autour de cette technologie, y compris dans le 5ème programme cadre de l'UE

- Atouts industriels et commerciaux
  - existence d'une capacité industrielle sur la technologie considérée, articulation avec l'industrie nationale
  - maîtrise de la technologie et des technologies liées par les entreprises françaises (européennes)
  - position concurrentielle des entreprises françaises (européennes) face aux leaders sur le marché
  - existence d'un environnement favorable : réglementation, normes et standards, existence d'un « marché pilote » pour amorcer et tester les applications successives de la technologie
  - existence de partenariats, coopérations inter-entreprise, structuration en filières,…
  - capacité à valoriser la technologie, disponibilité des ressources face au « ticket d'entrée » (investissement industriel et commercial)

Fort des propositions de technologies émanant des 8 groupes de travail du premier cercle et de l'évaluation des attraits et des atouts par les experts du second cercle interrogés par questionnaire, c'est le Comité de Pilotage qui a procédé à l'arbitrage final des technologies clés retenues à l'horizon 2005.

Chacune des technologies clés finalement retenues a pu être caractérisée en une fiche de synthèse présentée en partie III et reprenant :

- une définition de la technologie clé retenue,
- les liens éventuels avec d'autres technologies clés,
- le degré de développement de la technologie,
- les positions scientifiques et techniques mais aussi industrielles et commerciales de la France et de l'Europe sur cette technologie,
- la partie de la grille de caractérisation présentée au chapitre I.5.

Avant ces fiches de synthèse de la partie III, la partie II est consacrée à une description des contextes technico-économiques associés à chacun des 8 thèmes qui ont structuré l'étude.

II – Le contexte par grands domaines

II.1 - Technologies de l'Information et Communication

II.2 - Matériaux – Chimie

II.3 - Construction – Infrastructure

II.4 – Energie - Environnement

II.5 - Technologies du Vivant – Santé - Agroalimentaire

II.6 - Transport – Aéronautique

II.7 - Biens et services de consommation

II.8 - Technologies et Méthodes de Conception – Gestion – Production

II.1 - Technologies de l'Information et Communication

Résumé

Le développement des technologies de l'information et de la communication, leur diffusion dans le tissu économique et plus globalement l'émergence de la société de l'information auront constitué un fait majeur de la deuxième moitié du 20ème siècle. L'ampleur du phénomène, l'étendue et la profondeur de son impact, n'ont plus à être démontrés, l'exceptionnel développement d'Internet en constituant le volet le plus visible.

Bénéficiant d'un effort massif de R&D, les TIC vont poursuivre leur développement. L'intégration croissante et la montée en fréquence des composants va permettre de poursuivre l'amélioration des ratio performances/prix. Les enjeux liés à la maîtrise du développement des logiciels (productivité, fiabilité, maintenabilité) n'en seront que renforcés. Les technologies liées à l'internet du futur (nouveaux terminaux, mobilité, haut débit, intégration du multimédia) prendront également une importance croissante.

Si l'innovation technologique est un des moteurs essentiels de la croissance des TIC, elle ne saurait se réduire à la maîtrise d'un nombre limité de technologies dites "clés" ; la capacité à intégrer différentes technologies dans des systèmes complexes, la capacité d'anticipation des évolutions technologiques et la réactivité de l'entreprise, depuis les processus de détection de nouveaux marchés et de R&D jusqu'à la distribution des produits ou services, sont également des facteurs clés.

Introduction

Les technologies de l'information et de la communication comprennent l'ensemble des activités liées à la production, la transmission et la diffusion de l'information. Les TIC se trouvent au cœur de plusieurs grands secteurs industriels : les composants, l'informatique (matériels, logiciels et services), les télécommunications (équipements et services), l'électronique grand public et les activités audiovisuelles, l'électronique professionnelle. Ces industries présentent un caractère stratégique du fait de leur poids économique et de leur forte croissance mais également du fait de leur diffusion dans l'ensemble des secteurs économiques où elles sont à l'origine de nouveaux produits, de nouveaux services et donc des emplois nouvellement créés.

Ces cinquante dernières années ont ainsi vu l'émergence de l'informatique et des technologies de communication qui y sont associées. La contribution des industriels et de la recherche universitaire y est largement reconnue, plus méconnu est le rôle central du financement public dans le lancement et le soutien de cette révolution. L'histoire de l'informatique aux Etats-Unis démontre le rôle crucial du gouvernement fédéral dans l'orientation de la recherche, le développement de la formation des ingénieurs et scientifiques et pour l'équipement en moyens de recherche des laboratoires. Ainsi les bases de données relationnelles, l'informatique théorique, l'intelligence artificielle, la réalité virtuelle et surtout l'Internet n'auraient pu se développer sans le soutien public et les expérimentations permises par ce financement.

Ces développements technologiques ont été accompagnés par des innovations d'usage, par la déréglementation des télécommunications et par le développement de nouveau mode de financement de l'innovation. Ces technologies ont ainsi permis et accompagné une évolution profonde souvent analysée comme une troisième révolution industrielle qui correspond à la fois à la transformation vers une Société de l'Information et à l'entrée dans une Nouvelle Economie toutes deux fondées sur les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) - cf. ch. I.3). La révolution numérique est symbolisée par l'explosion des usages sociaux et commerciaux de l'Internet sur les dernières années. Internet est bien plus une révolution par la transformation des activités économiques qu'elle permet qu'une révolution technologique. Les technologies informatiques y sont mobilisées pour faire évoluer les contenus vers le multimédia et en améliorer l'accès (mobilité, ubiquité, accès permanent) et la vitesse (haut débit dans les réseaux, vitesse de traitement des CPU). Ces trois facteurs (multimédia, accès, vitesse) rendent possible d'interconnecter les applications, de traiter et de superviser l'information à l'échelle d'un réseau, fut-il mondial.

Cette évolution technologique se joue dans un contexte de compétition mondiale : la convergence amorcée des technologies télécoms, informatique et électronique autour des réseaux, redéfinit des secteurs entiers d'activité et les positions concurrentielles des firmes qui y opèrent. Cette révolution numérique s'appuie sur le développement de l'industrie électronique (composants, terminaux) qu'elle renforce. L'électronique est partout : le nombre moyen de microprocesseurs par individu ainsi que leur puissance de calcul devraient ainsi être multipliés par 10, en passant respectivement de 5 à 50, et de 100 à 1000 MIPS entre 1999 et 2005.

Les technologies logicielles ont une part croissante, la répartition entre le matériel et le logiciel se modifie au profit du deuxième (80 % en *software engineering* contre 20 % en *hardware integration*), même si ces distinctions sont discutables.

La société de l'information correspond à un ensemble de transformations des activités humaines que sont le travail, le commerce, l'éducation et les loisirs. Le développement du commerce électronique et la montée des services associés en sont la face la plus visible. La révolution numérique conduit par ailleurs à de profonds changements dans les secteurs dont le contenu est avant tout informationnel donc numérisable : loisirs (livres, disques, vidéo, presse, informations), services financiers

(dématérialisation de la monnaie) ainsi qu'à la transformation des opérations administratives dans les entreprises par automatisation et transfert vers le client.

Ce chapitre présente dans un premier temps les secteurs et marchés qui sont le contexte de cette évolution, en soulignant le rôle d'internet et des communications mobiles, la deuxième partie présentant les grands enjeux scientifiques et technologiques du secteur.

Références :
- Rapport du commissariat au plan : recherche et innovation, place et stratégie de la France dans la compétition mondiale - groupe (G. Kahn) sur la recherche et l'innovation dans les TIC : www.inria.fr/Direction-scientifique/Rapport-Plan.html
  Plan stratégique de l'INRIA : www.inria.fr/Strategie/
- Rapport RNRT Internet du futur : www.telecom.gouv.fr/rnrt/fridf.htm
- R&D en TIC aux USA : rapport PITAC www.ccic.gov/ac/report/
  initiative IT² (Information technology initiative for the 21st century) www.ccic.gov/pubs/it2-ip/
- Etude "les technologies de l'information et de la communication et emploi en France" du ministère de l'économie, des finances et de l'industrie www.telecom.gouv.fr

1 - Contexte général des TIC

1.1 Un secteur en forte croissance dont l'impact économique est majeur

Le secteur des technologies de l'information et des communications (TIC) rassemble des technologies à l'origine séparées qui, du fait de la numérisation des contenus et des services, sont aujourd'hui étroitement liées : informatique, télécommunications, électronique. Ce secteur s'articule autour de trois grands domaines d'activité : l'informatique, les télécommunications, l'audiovisuel, auxquels on adjoint également des domaines plus spécifiques à savoir l'électronique professionnelle et les composants. Les services représentent une part importante de ces activités en terme de chiffre d'affaires et plus encore d'emplois ; le périmètre exact varie suivant les études, notamment au niveau des services audiovisuels.

La diffusion des TIC est aujourd'hui un enjeu majeur pour la croissance et la compétitivité des économies. On constate depuis 5 ans que les marchés liés aux TIC connaissent un rythme de développement, dans toutes les zones économiques, de l'ordre de 10 % par an. Dans un contexte de marché aussi porteur la place du secteur des TIC dans l'économie tend à se renforcer. En France, on estime que les TIC, services et industries confondues, représentaient 5 % du PIB en 1998, soit davantage que les secteurs de l'automobile et de l'énergie réunis, cette part continuant à croître. Cette dynamique a un effet d'entraînement sur l'ensemble de l'économie. La contribution à la croissance de ce secteur est aujourd'hui 3 à 4 fois plus importante que son poids dans l'économie. Cette contribution serait de l'ordre de 25 % sur les quatre dernières années aux Etats Unis et d'environ 20 % en France.

Cette position centrale des TIC dans la croissance s'explique, en partie, par le caractère générique de ces technologies et leur large diffusion dans l'économie. Les TIC transforment les processus de production des entreprises et les modes de consommation des ménages. Leur impact n'est d'ailleurs pas limité à ces seuls acteurs économiques. Il touche également la recherche scientifique, les administrations, les services publics… d'où l'apparition du concept de société de l'information. Ces transformations, de par leurs effets, ne sont pas sans rappeler celles liées à la diffusion de l'électricité ou encore au développement des transports.
De nouveaux modèles de compétitivité des entreprises apparaissent où la gestion de la connaissance et de l'information jouent un rôle central. Avec le développement des réseaux, des mobiles et du multimédia l'adoption des TIC par les entreprises est non seulement un enjeu en terme de productivité mais constitue également une opportunité pour conquérir de nouveaux marchés ou encore se différencier par le développement de services associés aux produits. La diffusion des TIC est donc un

objectif stratégique pour la croissance, la compétitivité prix et la compétitivité hors prix des économies.

Pour autant, un pays qui ne serait que consommateur de ces technologies ne profiterait que partiellement des opportunités qu'elles offrent. L'exemple américain et les centaines de milliers d'emplois qui y sont créés dans ce secteur témoignent de l'importance d'une bonne maîtrise de l'offre. En la matière, la France dispose d'un certain nombre d'atouts notamment dans l'industrie des télécommunications, celle des composants ou encore dans le domaine des services informatiques ou celui des télécommunications. L'industrie française occupe dans ce secteur le 4ème rang mondial derrière le Japon, les Etats-Unis et l'Allemagne.

		CA en milliards d'euros	En %
Les TIC ont engendré en 1997 un chiffre d'affaires de 128 milliards d'euros. Avec 63 milliards d'euros les entreprises industrielles représentent 12 % de l'industrie manufacturière. Les services représentent 65 milliards d'euros, soit 20% des services marchands (hors commerce, transports et activités financières).	**Télécommunications**	**39**	**31**
	- dont industrie	13	10
	- dont services	26	21
	Informatique	**37**	**29**
	- dont industrie	13	10
	- dont services	24	19
	Communication	**39**	**30**
	- dont industrie	24	19
	- dont services	15	11
	Industrie électronique	**13**	**10**
	Total	*128*	*100*

Source : Insee première, n°648, mai 1999

D'après les dernières statistiques disponibles au ministère de l'économie et des finances, 1.198.600 personnes travaillaient, en France, fin juin 1999, dans ce secteur des technologies de l'information et de la communication (pris au sens large). Après une période de baisse, le secteur est depuis 1995 créateur d'emploi, avec une forte accélération depuis 1998 (supérieure à 8%). Entre juin 1998 et juin 1999, celui-ci a créé 89 100 nouveaux emplois, un record. Les services informatiques connaissent une croissance particulièrement soutenue (+13 % en 97, +16 % en 98) ; la croissance d'emplois est également sensible dans l'audiovisuel et les médias électroniques mais aussi dans l'industrie "manufacturière", les services en télécommunications devenant également créateurs d'emplois après une période de légère régression.

L'amélioration constante de la balance commerciale française du secteur, dont le taux de couverture est aujourd'hui d'environ 90% contre seulement 70% en 1993, témoigne des progrès réalisés par cette industrie en terme de compétitivité. Cette situation est encore à consolider. Pour ce faire, il convient de souligner le rôle central joué par la recherche et développement dans la dynamique de croissance et de concurrence de ce secteur. Les dépenses de R&D y représentent près de 10 % du chiffre d'affaires contre seulement 3 % pour l'ensemble de l'industrie. La capacité des pouvoirs publics et des entreprises à maintenir un effort de recherche substantiel est donc prioritaire.

1.2 Les nouveaux marchés : Internet, mobiles et commerce électronique en France

Tous les indicateurs témoignent qu'aujourd'hui la France a pris le virage des NTIC, même si les pays les plus avancés dans l'utilisation d'Internet conservent une avance estimée entre 1 et 2 ans.

A - Internet

- le nombre d'internautes a doublé tous les ans depuis 1997, pour atteindre environ 6 millions au premier trimestre 2000 ;
- 61% des PME (entre 6 et 200 salariés) sont aujourd'hui connectées à l'Internet contre seulement 40% en 1998
- progression du nombre de sites Web en ".fr" (source AFNIC, RIPE - mois d'avril de l'année considérée)

  1996 : 3.300 1997 : 9.000 1998 : 20.000 1999 : 40.000 2000 : 68.000 juillet 2000 : 87.000

  estimation des domaines d'organismes français dans le domaine ".com" : plus de 40.000

Taux d'équipement en micro-informatique des foyers (moyenne française)
Equipés micro-ordinateur : 21,1 %
Equipés modem : 6,6 %
Equipés accès Internet : 4,7 % (contre 20 % aux USA)

Lieu de connexion des internautes (1999)
au travail : 52,4 %
à domicile : 39,7 %
dans un autre lieu : 36,0 % (écoles, universités, cybercafés, bibliothèques...)

B - Commerce électronique

B-1) ***Commerce électronique de détail (B to C)*** : quasi nulles en 1997, inférieures au demi milliard de franc en 1998, les ventes auraient triplé entre 1999, atteignant 1,3 GF (source Benchmark group) ou 324 Md Euros (source Boston Consulting group). Le commerce électronique sur Minitel continue de drainer un volume sensiblement plus important à 1,5 Md Euros en 1998.
Le total des ventes en ligne (y compris Minitel) représentent environ 0,7 % du commerce de détail en France, contre 0,2 % en Europe et 1,2 % aux USA.
Les secteurs du voyage (transport, hôtellerie), de l'informatique, des livres + disques et du courtage en ligne représentent plus des trois quart des ventes.

Toutes les études convergent pour prédire une explosion des achats des particuliers sur internet. Ainsi une étude du BCG prévoit un chiffre d'affaires en ligne de 9 milliards d'euros d'ici à la fin de l'année en Europe, et 45 milliards d'euros en 2002, soit une multiplication par 13 en trois ans. Le marché européen accuserait un retard d'environ un an et demi sur les Etats-Unis. Si elles ne se montrent pas plus offensives, les entreprises européennes risquent de voir leur concurrents américains, plus expérimentés, prendre une part croissante de leur marché national. Pour l'heure, les Américains ont déjà conquis 20 % du marché européen, alors que les Européens ne réalisent que 7 % de leurs ventes en ligne à l'international.

B-2) ***Commerce interentreprises (B to B)*** : également négligeables en 1997, les ventes étaient estimées à plus d'un milliard en 1998 et plus de 7 milliards de francs en 1999, dépassant donc largement le commerce de détail sur internet. (source IDC). Les échanges inter-entreprises en EDI étaient estimés entre 30 et 50 MdF. (le commerce inter-entreprises étant évalué en 1996 par l'INSEE à 2500 MdF, dont environ 500 pour les biens d'équipement professionnels et 2000 pour le commerce de détail. Le commerce inter-entreprises devrait, en France comme ailleurs, continuer à se développer sur des volumes beaucoup plus importants que le commerce résidentiel.

C - Mobiles : téléphonie et accès Internet

- En France : la téléphonie mobile, dont le décollage a été relativement tardif, poursuit sa très forte croissance : + 40 % en 6 mois, pour un parc de 22,6 millions de clients au 31 mars 2000, soit un taux de pénétration de 37 %, contre environ 13 M en mars 1998 et 7 M en 1997. Les services de télécommunications représentent environ 163 MdF en 1998, 88 MdF au premier semestre 1999, dont respectivement 120,6 MdF et 63,7 MdF pour la téléphonie fixe, 24,8 et 17,5 pour la téléphonie mobile.

- En Europe : la téléphonie mobile est un domaine où l'Europe dispose d'une avance sur les USA, notamment grâce à l'adoption d'une norme unique GSM en Europe. Aux Etats-Unis, le taux d'équipement en téléphone portable n'est que de 30 % environ, et la croissance des abonnés progresse très lentement.

- Si les Américains ont environ 18 mois d'avance dans l'«Internet fixe », ils auraient environ deux ans de retard sur les Japonais et les Européens, en particulier les Scandinaves, dans celui de l'«Internet mobile », aussi bien dans le domaine du matériel que des usages : commerce proprement dit, livraison d'information en ligne, transactions boursières, divertissements,... Les opérateurs et les équipementiers européens auraient ainsi accumulé un savoir-faire supérieur.

- Les mobiles de troisième génération (UMTS), qui permettront de transmettre et de recevoir de hauts débits sur les réseaux, seraient disponibles d'ici l'an prochain au Japon, en 2002 en Europe, et sans doute 2003 ou 2004 aux Etats-Unis. Ces réseaux pourraient remettre en cause les positions acquises : si l'Europe peut s'appuyer sur ses forces en matière de télécommunications pour reprendre des positions sur l'internet du futur et notamment les accès depuis les mobiles, les Etats Unis essaient de rattraper leur retard en téléphonie mobile en sautant directement vers les mobiles de troisième génération.

1.3 Les tendances de la consommation finale

En France la consommation dans le domaine des télécommunications est marquée par l'explosion du marché du téléphone portable et par la demande croissante des entreprises pour le numérique et les accès Internet. En ce qui concerne l'informatique les achats de matériels, de logiciels et de services informatiques par les entreprises ont connu une forte croissance. L'équipement des ménages en ordinateurs équipés multimédia se développe, la croissance des ventes de logiciels éducatifs et ludiques est forte comme le montre le doublement des ventes de CD rom entre 1997 et 1998. L'équipement des ménages en produits de l'électronique grand public est marqué par la saturation du marché de la télévision, la maturité du marché des magnétoscopes et la croissance du marché des PC, des consoles de jeu et du matériel audio (baladeurs).

Ce chapitre relève trois grandes tendances agissant sur la consommation des ménages dans les TIC :

- la "reliance", vecteur de développement des communications,
- le développement de la demande de loisirs,
- la simplicité d'usage au cœur du développement

A - La "reliance", vecteur de développement des communications

Le nouveau consommateur éprouve le besoin d'être relié à tout moment aux autres via un mode de communication. Ce besoin de "reliance" du consommateur s'appuie sur le développement des TIC qui répondent aux besoins de communications et de mobilité. Les modes d'organisation du travail qui favorisent de plus en plus l'autonomie renforcent cette tendance. Ce modèle tend à gagner toutes les strates de la société et non plus seulement les actifs et les urbains. Il s'agit donc de libérer l'individu des contraintes physiques en lui permettant d'évoluer dans un monde « semi-virtuel », sans bureau ni horaires fixes, en mobilité potentielle apparente tout en restant relié. Les équipements en téléphonie mobile se diffusent : la tendance est à l'amélioration de la qualité et à la diminution des coûts. Le marché des moyens de localisation et de navigation embarqués devrait se développer.

Le développement du commerce électronique est la manifestation la plus forte de cette envie d'immédiateté et de neutralisation des distances. Les prévisions le concernant font état d'un véritable décollage du marché. Le commerce électronique pour le grand public dépend du taux d'équipement des ménages et correspond aujourd'hui majoritairement à du commerce de loisirs. La demande de personnalisation devrait pousser les services de commandes de sur-mesure. La croissance des transactions dépendra de la confiance des consommateurs dans la sécurité des transactions en ligne.

B - Le développement de la demande en loisirs

En matière de consommation, les attentes des Français tendent de plus en plus vers la personnalisation. Ainsi aux loisirs collectifs viennent s'ajouter des loisirs personnalisés s'adressant aussi bien aux foyers qu'aux individus. La multiplication des contenus thématiques permet la personnalisation croissante de l'offre. Ces loisirs n'exigent pas de mobilité extérieure mais requièrent des équipements spécifiques tels que les matériels d'électronique grand public et plus récemment les installations informatiques. Les loisirs audiovisuels occupent aujourd'hui plus de temps que le travail. Dès 1989 les Français leur consacraient 43 h par semaine contre 40 h pour le travail. La consommation culturelle est pour partie rapatriée à domicile. Les jeux vidéo sont aujourd'hui partie intégrante des mœurs adolescentes voire enfantines. Le développement de la diffusion par câble et satellite, le matériel vidéo professionnel mobile et peu coûteux, de nouvelles générations d'équipements avec le « home cinema », les lecteurs de DVD, l'apparition des grands écrans plats, la montée en gamme continue des appareils audiovisuels, la diffusion croissante des consoles marquée par un renouvellement rapide du parc du fait de l'obsolescence rapide des produits, des produits toujours plus performants et s'adressant à des tranches d'âge de plus en plus réduites, le développement de l'usage ludique des ordinateurs domestiques et la sophistication des logiciels de jeu (en ligne et 3D) sont les principales évolutions.

C - La simplicité d'usage ("praticité") au cœur du développement

La complexité est un des handicaps à la diffusion généralisée des innovations issues des technologies de l'information. L'usage relativement simple des téléphones portables contraste avec à la difficulté d'utilisation pour Internet. La demande de simplicité accrue conditionne l'accès à de nouveaux marchés, les produits presse-bouton doivent fleurir pour faire accéder une partie de la population aux nouvelles technologies (Internet, micro-ordinateurs). Le principe a ainsi été appliqué avec succès dans la vidéo (magnétoscopes, caméscopes, ..) et permet de comprendre l'importance des packs pour la commercialisation de produits technologiquement complexes mais d'installation et d'utilisation simple.

1.4 L'impact majeur d'INTERNET

L'exceptionnel déploiement d'Internet, qui s'appuie sur une dynamique d'innovation reposant sur 3 moteurs essentiels, conduit à une rupture fondamentale et à la naissance d'une nouvelle industrie

Si Internet s'est déployé initialement dans les milieux universitaires, c'est l'adoption massive par les entreprises puis par le grand public qui a permis son plein essor. Internet s'est développé parce qu'il répondait à un besoin important mais son succès est aussi étroitement lié aux moteurs technologiques qui l'ont favorisé et aux facteurs économiques qui ont permis son déploiement rapide.

A - Les moteurs d'usage

Trois applicatifs principaux sont à l'origine de l'adoption d'Internet par le grand public : le Web, la messagerie électronique et l'IRC (Internet Relay Chat, « discussions » sur Internet). Ils répondaient à un besoin social important de communication inter-personnelle asynchrone (la messagerie électronique) ou presque synchrone (IRC ou les forums de discussion) et à un besoin de services en ligne (le Web). Ces éléments restent prépondérants aujourd'hui encore. L'usage de ces services a été favorisé par la facilité de déploiement et de maîtrise des technologies, qui ont permis l'apparition rapide d'utilisations inattendues. Progressivement, les usages se sont diversifiés et la multiplication des services en ligne notamment par le biais du commerce électronique a transformé Internet en un véritable média de masse. Dans le même temps, les entreprises ont commencé à adopter Internet et des usages professionnels sont apparus avec les concepts d'Intranet ou d'Extranet et le développement de services spécifiques, adaptés à un secteur utilisateur donné.

B - Les moteurs technologiques

Trois facteurs technologiques principaux expliquent le succès d'Internet :
- Le terminal : universalité du PC, augmentation des performances (loi de Moore), chute du coût
- L'évolution des réseaux : augmentation des débits disponibles (loi de Moore, progrès de l'opto-électronique) intégration de données différentes (texte, image, son, voix, vidéo) propriétés du protocole IP : robustesse, souplesse face à l'hétérogénéité des réseaux, facilité de passage à l'échelle, interopérabilité naturelle
- L'adoption d'une approche technologique ouverte : nouveaux mécanismes comme l'IETF (plus rapides et plus informels) de standardisation mondiale, certains logiciels libres (Appache…)

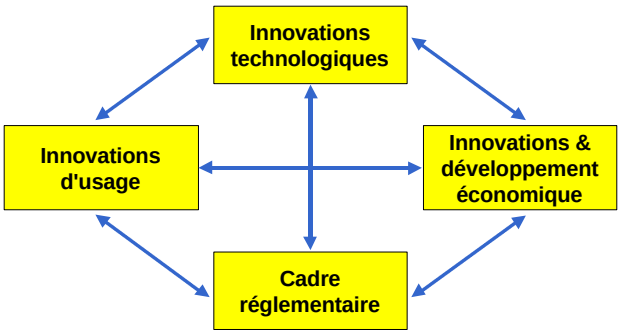
C- Les moteurs économiques

Différents acteurs économiques ont joué un rôle important dans le développement d'Internet :
- Les clients grand public ont adopté le micro-ordinateur, renforçant son caractère de marché de masse (délocalisation des investissements chez le client, renouvellement rapide des PC) ;
- L'Etat américain, avec un soutien direct à la R&D et une aide à la mise en place des infrastructures ;
- Les entreprises pourvoyeuses d'accès ou de service avec des investissements importants pour prendre des positions en rupture par rapport aux acteurs dominants traditionnels du secteur des télécommunications ;
- Les investisseurs (venture capitalists, NASDAQ…) qui ont permis à de nouvelles entreprises de prendre des risques industriels et commerciaux importants.

L'essor d'Internet résulte également de certaines modalités d'interaction entre ces différents acteurs:
- Le développement du logiciel libre et du logiciel gratuit
- Un fort effet de réseau à l'échelle mondiale (messagerie électronique, IRC, Web…)
- La possibilité de créer de nouveaux réseaux sans lourds investissements initiaux (ceux-ci n'arrivant que plus tard).

Il ne faut pas oublier non plus le rôle joué par le cadre réglementaire. Aux Etats-Unis, le mode de tarification imposé pour la boucle locale (indépendant du temps de communication), un régime d'interconnexion favorable, l'absence de taxe spécifique sur les achats en ligne, les lois favorables à l'utilisation de la cryptologie et la souplesse des règles du droit d'auteur pour mettre en ligne des contenus ont favorisé l'adoption d'Internet par le grand public.

Le schéma ci-dessous résume les différents mécanismes à l'œuvre dans la dynamique d'innovation inhérente à Internet. Cette dynamique est amplifiée par les interactions constantes qui unissent étroitement ces moteurs du développement d'Internet. L'exemple le plus marquant de cette dynamique est la Silicon Valley où la coexistence de techniciens innovants, de financiers ambitieux et d'industriels puissants a permis l'émergence rapide d'un vivier d'entreprises leader sur le marché d'Internet.



1. Le contexte de la rupture

Cette dynamique d'innovation, combinaison d'innovations technologiques, d'innovations d'usages et d'innovations économiques, qui s'accélère sans cesse, conduit à une véritable dynamique de rupture pour l'ensemble des secteurs en place avant Internet. Cette rupture bouscule les positions établies, et permet l'émergence de nouveaux acteurs qui tirent parti des opportunités.

Le concept de technologie disruptive, qui a été utilisé pour de nombreuses innovations passées, est fondamental pour comprendre la discontinuité apportée par les protocoles autour d'IP (IP, HTML, SMTP, etc.). Une technologie disruptive n'est pas meilleure ou moins bonne que les technologies qui existaient avant elle : elle répond à un besoin nouveau auquel les technologies précédentes ne pouvaient pas répondre. Ainsi, les technologies Internet permettent l'émergence d'un système de communication mondial multimédia (le Web), qui n'était pas envisageable auparavant.

Ces technologies changent les règles du jeu de la concurrence. Elles s'appuient sur des marchés nouveaux, en pleine croissance, qui ouvrent de nouvelles opportunités de création de valeur pour les clients. Pour prendre des positions sur ces nouvelles chaînes de valeur, et pour être le premier sur les nouveaux marchés, l'ensemble des acteurs déploient des efforts de R&D importants. Dans le cas d'Internet, ces efforts de R&D conduisent à l'établissement de standards ouverts, mondiaux, qui capitalisent l'effort mondial de recherche.

Même si les technologies Internet n'étaient pas prévues, à l'origine, pour faire ce que les technologies classiques faisaient déjà correctement (la téléphonie, par exemple), ces technologies sont portées par l'effort de R&D mondial et atteindront à coup sûr d'ici quelques années un degré de maturité suffisant pour les rendre plus efficaces que les technologies classiques à tous points de vue. La situation des entreprises installées deviendra alors difficile sans un effort considérable de réorientation pour assurer leur survie. Startups, PME et nouveaux entrants viennent tout à coup prendre des positions clés dans les marchés installés.

D - Rupture dans l'offre de produits et de services TIC :

- dans les télécommunications : remise en cause des opérateurs intégrés traditionnels, déplacement de la valeur ajoutée aux extrémités, accroissement de la concurrence.

L'arrivée d'Internet vient fondamentalement ouvrir le modèle classique des réseaux de télécommunications, en effaçant les barrières de protocole entre réseaux, terminaux et serveurs. L'architecture du réseau, devenu "backbone", peut être simplifiée et rendue durablement indépendante des services proposés. Les serveurs, quant à eux, peuvent apporter aux terminaux des services sans délai d'adaptation du réseau, et distribuer simultanément les adaptations logicielles requises par les terminaux. Dans ce modèle, les opérateurs intégrés traditionnels et les équipementiers de commutation perdent nombre d'avantages concurrentiels, et doivent changer de technologie pour tirer profit des gains de coût permis par la norme IP.

L'abaissement des coûts et la réduction des barrières technologiques à l'entrée entraînent l'apparition de nouveau entrants, stimule la concurrence et rend solvables des niches de marché, entraînant une spécialisation de certains entrants et des politiques d'écrémage.
La valeur ajoutée se déplace vers les extrémités (clients, fournisseurs de services), avec intégration du savoir-faire réseaux dans les équipements d'extrémité, opérateurs et équipementiers cherchant à offrir de nouveaux services afin de compenser leurs pertes de revenus.
Internet pose un problème nouveau, les revenus qu'il génère ne pouvant plus venir uniquement de l'usage du réseau : malgré la hausse considérable du trafic, le réseau devenu simple utilité n'engendre pas les mêmes marges que dans les usages traditionnels.
Cette rupture s'étend rapidement dans les marchés qui restent encore aujourd'hui peu touchés par Internet : le marché des télécommunications fixes et mobiles.

- dans l'informatique : accélération des méthodes de développement par composants réutilisables, vente d'utilisation d'une application "à la demande" par Internet…

Les micro-ordinateurs, éléments importants dans Internet jusqu'à aujourd'hui, sont à leur tour menacés par de nouveaux terminaux répondant à de nouveaux besoins (téléphones mobiles, Web-TV, « organiseurs », consoles de jeux…). Ces nouveaux terminaux bouleversent le paradigme de la micro-informatique (modèle unique du terminal à tout faire) pour introduire la diversification des terminaux et des contraintes de poids, de consommation, de facilité d'usage.
Les méthodes traditionnelles de développement logiciel, souvent intégrées, sont remises en cause grâce à la technologie du composant logiciel portable qui permet sa réutilisation dans divers contextes et son emploi indépendemment de la nature des plates-formes utilisées. Des méthodes de conception très innovantes apparaissent, avec des gains en temps et en qualité importants : développement en équipes éclatées, circulation instantanée et à coût marginal nul de composants logiciels et de documentation, généralisation de composants standards, sous-traitants spécialisés "meilleurs du monde" sur tel composant…
Le métier traditionnel des entreprises de service en informatique est également transformé : grâce aux réseaux, il devient moins nécessaire de vendre et d'installer un produit chez le client pour qu'il puisse l'utiliser. De nouveaux modèles économiques fondés sur la facturation en ligne de l'usage d'une application (Application Service Provider, fermes de serveurs en ligne) se font jour.
La mise en ligne des applications existantes et d'applications "à la demande" ne procède pas uniquement d'une logique de coût mais répond à de nouveaux besoins d'extension des systèmes d'informations vers les clients et fournisseurs d'une entreprise. L'informatique converge ainsi avec les télécommunications offrant à ces deux types d'acteurs un champ nouveau d'opportunités.

- dans l'audiovisuel : apparition de l'interactivité, remise en cause du modèle de distribution audiovisuelle, évolution forte des terminaux, démocratisation de la chaîne de distribution…

L'apparition de l'interactivité est une rupture forte en train de naître dans le monde de l'audiovisuel. De nouveaux usages commencent déjà à poindre sur leWeb. L'apparition de nouveaux services interactifs risque d'entraîner une segmentation nouvelle des attentes des clients, qui pourraient devenir moins exigeants sur la qualité de l'image en contrepartie de nouvelles possibilités d'usage. Le phénomène est très clair aujourd'hui sur Internet avec l'explosion des technologies de streaming malgré leur faible résolution.
L'apparition de l'interactivité s'accompagne de l'arrivée de nouveaux réseaux d'accès, en concurrence avec les réseaux traditionnels : GPRS/UMTS, xDSL, câble, etc. Dans le même temps, on peut anticiper une ouverture prochaine des réseaux de diffusion similaire à celle observée dans les télécommunications (arrivée des technologies de diffusion sur Internet).
Enfin, l'arrivée de l'interactivité a un impact fort sur l'ensemble des terminaux audiovisuels (TV, radio, magnétoscope, caméscope, consoles de jeu…) en introduisant des besoins nouveaux d'intelligence, d'interopérabilité et d'interactivité. L'audiovisuel est aussi un candidat aux opportunités nouvelles offertes par la convergence.

- dans les industries de contenu : dématérialisation et numérisation des contenus, nouveau lien avec les utilisateurs, problèmes de protection et de rémunération des contenus…

La rupture principale apportée par Internet dans ces industries est la dématérialisation des contenus et la possibilité de stocker et distribuer ces derniers à coût marginal nul, dans des standards ouverts et indépendants de l'usage ou du moyen qui a permis de les produire.
Il est également possible maintenant de conserver un lien permanent avec les utilisateurs, pour leur apporter plus d'informations et faire vivre le contenu. Il est également possible d'animer des communautés autour de contenus (communautés de fans…), de mieux comprendre leurs besoins et d'y répondre.
Les contenus disponibles sur Internet en format standard peuvent être traités (filtrés, condensés, indexés, etc.) par des intermédiaires dont le rôle est de rapprocher l'information de son usage.
Les mécanismes qui permettront de rémunérer l'information et surtout de protéger les droits qui lui sont attachés restent encore en grande partie à inventer.

- dans les composants : nouveaux composants clés dédiés à Internet, possibilités d'imaginer des composants re-programmables…

Apparition de fonctions optiques dans un monde entièrement électronique : le développement d'Internet entraîne une croissance importante des débits transportés par les réseaux. Pour y répondre, on assiste à un développement sans précédent des fonctions optiques qui bousculent la frontière entre optique et électronique autour de nouvelles architectures IP sur optique.
Evolution forte des composants clés au sein des systèmes : l'arrivée d'Internet bouscule les composants clés qui accaparaient l'essentiel de la valeur ajoutée dans le monde des micro-ordinateurs ou des télécommunications mobiles.

E - Ruptures dans le secteur industriel et commercial en général

Internet permet de revoir entièrement la relation qui préexistait entre une entreprise et ses clients ou fournisseurs en offrant un nouveau canal de distribution, en permettant la généralisation et l'ouverture des concepts d'EDI, et en permettant le développement rapide d'un nouveau "front office" sur le Web sans remettre en cause, au préalable, l'ensemble des systèmes d'information existants. Ce processus va bien au delà du développement du commerce électronique et correspond à l'extension chez les clients et partenaires des systèmes internes de l'entreprise.
Internet et l'ensemble des technologies qui lui sont associées autorisent et généralisent ainsi la mise en réseau, via notamment des portails spécialisés:

- des employés de l'entreprise (résidants, nomades, ou travailleur à domicile), en facilitant en particulier la mise en place d'organisations virtuelles reconfigurables au fil du temps
- de l'entreprise avec ses clients, tout en permettant d'enrichir le concept de produit étendu (produit + service), en offrant de nouveaux services, en renforçant le service après vente, en généralisant les concepts de personnalisation de masse, …
- de l'entreprise avec ses fournisseurs ou partenaires, en favorisant, en particulier, une meilleure intégration de ses propres processus internes avec ceux de ses partenaires
- des diverses fonctions et applications du système d'information lui même pour assurer une meilleure réactivité globale de l'entreprise à l'ensemble de ses sollicitations extérieures.

Internet est par ailleurs un outil idéal pour la maîtrise et la capitalisation des connaissances, aujourd'hui enjeu majeur de compétitivité dans tous les secteurs économiques, sans oublier la santé, l'enseignement, la recherche, etc.

Source : rapport du RNRT sur "Internet du futur"

2 - Les grands enjeux technologiques

2.1 Une dynamique d'innovation inégalée s'appuyant sur un effort massif de R&D

A - Vitesse de l'évolution technologique et des usages

L'innovation technologique constitue un élément fondamental du développement exceptionnel des TIC dans lequel la R&D joue un rôle central.

Fondamentalement, la technologie n'a cessé d'évoluer à une vitesse surprenante. Les grandes lignes de l'évolution technologique sont considérées –peut-être un peu hardiment- comme connues jusque vers 2010, mais peu se hasardent à faire des pronostics plus éloignés. La progression des performances des composants, la fameuse loi de Moore prévoyant un doublement des performances tous les 18 mois - gain d'un facteur 1 million en 30 ans), a des effets structurants sur l'ensemble de l'informatique et des télécommunications, permettant des améliorations impressionnantes des rapports performance/prix, avec pour corollaire une obsolescence très rapide des produits, accélérant le renouvellement de la demande.

Cette évolution technologique est aujourd'hui accompagnée par une forte dynamique d'innovation d'usage, comme l'illustre l'explosion des usages sociaux et commerciaux de l'Internet sur les dernières années.

Dans ce contexte, les politiques d'investissement doivent intégrer une anticipation des résultats de la R&D. La rapidité de mise sur le marché est également un facteur clé, la durée des cycles de mise sur le marché descendant en dessous de l'année. Les méthodes de conception "linéaire" : développements technologiques => développement de produit => développement de services, doivent évoluer vers des méthodes de développement parallélisées, conduisant à des cycles beaucoup plus courts.

B - Importance des investissements en R&D

La R&D joue un rôle central dans le développement des TIC. Les efforts de R&D rapportés aux dépenses de production sont dans le secteur des TIC en moyenne 3 fois supérieurs à ceux de l'ensemble de l'industrie (9% contre 3% aux USA, 9% contre 2% en France). C'est une donnée structurelle du secteur qui n'a quasiment pas varié depuis 15 ans. Le secteur des TIC réaliserait ainsi environ 25% de l'effort industriel de R&D, alors qu'il ne représente qu'environ 10% de la production (source OCDE).

L'importance des efforts de R&D et le raccourcissement de la durée de vie des produits augmentent les risques liés à la valorisation des efforts de R&D ; c'est pourquoi une part croissante de la R&D est réalisée dans le cadre d'alliances interentreprises.

Enfin la standardisation est un autre facteur essentiel de la compétitivité des firmes et des économies dans ces secteurs. De ce point de vue, l'industrie américaine a pu bénéficier, contrairement à l'industrie européenne, d'un marché homogène et, dans de nombreux domaines imposer ses standards aux autres intervenants. Le développement et la promotion du protocole Internet sont l'un des exemples les plus significatifs de l'importance des standards dans le modèle économique des TIC.

C - Un nouveau couplage entre recherche publique et recherche industrielle

De façon générale, la recherche dans le secteur des TIC est assez largement financée par la puissance publique et tout particulièrement lorsqu'elle est à moyen et long terme. L'industrie des TIC a

fortement bénéficié des travaux conduits dans le cadre de la recherche publique, notamment dans le domaine d'Internet.

La dynamique d'innovation des TIC remet en cause le modèle linéaire recherche amont - recherche appliquée - développement industriel. Si la plupart des priorités de recherche des acteurs industriels se situent à un horizon de 1 à 3 ans, les travaux correspondant peuvent comporter des études présentant des enjeux scientifiques et techniques importants, dépassant le cadre de "simples travaux de développement". Certains résultats de recherches considérées comme relativement fondamentales ont parfois trouvé des applications industrielles rapides (vérification de logiciels pour Ariane 5).

Ainsi la qualité de la recherche publique en STIC et de ses relations avec le tissu industriel est un élément clé du développement du secteur des TIC. Ce lien s'est avéré particulièrement efficace aux USA, où cet enjeu est parfaitement perçu : le budget fédéral de R&D consacré aux TIC est en augmentation d'environ 400 M$ à 1,7 G$ dans le cadre de l'initiative IT², un effort encore plus important étant prévu en 2001, avec comme priorités principales :
- le logiciel, qui constitue la première priorité
- les interactions homme - machine,
- l'infrastructure de communication
- le calcul à haute performance

D - Capital risque et start-up

Enfin le rôle joué par le capital risque -et plus en amont par le capital d'amorçage - dans la dynamique du secteur des TIC doit être souligné, les marchés de capitaux, principalement le NASDAQ, jouant en aval un rôle complémentaire dans le financement des hautes technologies. Le secteur des TIC attire plus de 60 % des investissements, internet en représentant une part croissante.

Les start-up du secteur jouent un rôle déterminant dans la valorisation des résultats de recherche. Elles sont en effet à l'origine d'une partie importante de l'innovation et si elles ne parviennent pas très souvent à faire des percées fulgurantes sur les marchés, comme ont réussi à le faire par exemple Microsoft, Intel ou Cisco, elles n'en sont pas moins la cible privilégiée des grandes entreprises pour acquérir rapidement les moyens de leur innovation.

Dans ce contexte, la valorisation boursière apparaît comme une enjeu technologique clé pour les grandes entreprises, puisqu'un niveau élevé leur permet d'acquérir facilement les technologies qui leur font défaut en rachetant des start up…

2.2 A la recherche des technologies clés ?

Si l'innovation technologique est un des moteurs essentiels de la croissance du secteur des TIC, elle ne saurait se réduire à la maîtrise d'un nombre limité de technologies dites "clés" ; la maîtrise de ces technologies ne saurait garantir une place significative sur les nouveaux marchés :

- d'un point de vue technologique, la capacité à intégrer différentes technologies dans des systèmes complexes représente souvent un enjeu supérieur à la maîtrise d'une technologie, aussi importante soit-elle ;
- la durée des cycles de mise sur le marché descendant en dessous de l'année, la capacité d'anticipation des évolutions technologiques et la rapidité de mise sur le marché sont également des facteurs clés, ainsi que plus largement la réactivité de l'entreprise, depuis les processus de détection de nouveaux marchés et de R&D jusqu'à la distribution des produits ou services.

Par ailleurs, s'il est possible d'évaluer certains enjeux technologiques avec une fiabilité raisonnable, la rapidité d'évolution des positions technologiques et industrielles dans le domaines des TIC doit conduire à une grande prudence vis-à-vis de ce type d'exercice prospectif : pour mémoire, l'étude

précédente couvrant la période 1995-2000 n'avait pas décelé le phénomène majeur de cette période, à savoir l'explosion des technologies et des usages de l'Internet.

A - Le logiciel

Les logiciels jouent un rôle croissant dans l'économie et la société et tout laisse prévoir une prolongation de cette tendance :

- avec un taux de croissance de l'ordre de 15 % au cours des dernières années (source : IDC), le poids relatif de l'industrie du logiciel dans l'économie ne cesse d'augmenter,
- le logiciel est une composante essentielle d'évolutions majeures, telles que le développement de l'Internet et des services associés ou la convergence entre les télécommunications, l'électronique grand public et l'informatique ;
- de plus en plus de fonctions, jusqu'ici traitées par le matériel, sont progressivement transférées au niveau du logiciel ; ce dernier permet en outre l'apparition de fonctions nouvelles et l'amélioration des performances ;
- des logiciels très complexes sont au cœur de systèmes critiques (finances, transports, défense…);
- le développement du logiciel contribue fortement à la compétitivité des entreprises des autres secteurs, non seulement parce qu'il permet des gains de productivité, mais aussi parce qu'il se traduit par d'importants avantages concurrentiels en termes de nouvelles applications et de nouveaux services.

Or la maîtrise des logiciels est actuellement insuffisante : les logiciels sont encore aujourd'hui trop peu fiables et trop difficiles à concevoir, à tester, à maintenir, à mettre en œuvre et à faire évoluer. Les outils et les méthodes utilisés pour réaliser les logiciels sont souvent insuffisamment puissants et ne permettent d'atteindre ni le niveau de fiabilité voulu, ni la productivité souhaitée. Il y a donc en la matière - notamment autour de thèmes tels que l'ingénierie du logiciel, le développement à base de composants logiciels ou le « middleware » de l'informatique distribuée - des besoins particulièrement importants en matière de R & D. Ce constat est largement développé dans le rapport «PITAC »[1] adressé au Président des Etats-Unis. C'est pourquoi, alors même que la prépondérance de l'industrie américaine du logiciel est écrasante, le logiciel constitue la première priorité de l'initiative IT[2], qui vise à renforcer l'effort fédéral de recherche.

Par ailleurs, on constate que la position de l'Europe – et notamment de la France – est globalement insatisfaisante : à de notables exceptions près, les positions industrielles sont faibles et la R & D est traditionnellement plus engagée sur le matériel que sur le logiciel et les services. A titre d'illustration, on citera quelques estimations données par IDC pour l'année 1998 : en ce qui concerne le « packaged software » (systèmes d'exploitation, applications bureautiques, jeux…), si l'Europe représentait 31 % du marché mondial (contre 49 % pour les Etats-Unis), elle ne comptait que pour 14 % de la production (contre 77 % pour les Etats-Unis), avec seulement une entreprise (l'allemand SAP) parmi les 20 leaders mondiaux (contre 16 pour les Etats-Unis) ; on constate en outre que, pour chacune des données précédentes, la situation relative de l'Europe s'était dégradée par rapport à 1996 ; il doit cependant être noté que, toujours selon les évaluations d'IDC (forcément plus approximatives dans ce domaine), la position relative de l'Europe est nettement plus favorable en ce qui concerne l'«embedded software» (logiciel « enfoui » dans des produits et systèmes non informatiques, allant du téléphone mobile aux ascenseurs). Quant aux sociétés de service, qui sont un point fort de la France, elles ne contribuent qu'assez peu à l'effort de R & D. En revanche, la recherche publique française dans le domaine du logiciel représente un potentiel significatif. Le réseau national de recherche en technologies logicielles (RNTL) vient d'être créé, avec pour objectif de contribuer à l'amélioration de la position relative de

[1] President Information Technology Advisory Committee Report to the President (Information Technology Research : Investing in Our Future - February 24, 1999).
[2] Information Technology initiative for the 21st century.

l'industrie et de la R & D françaises du logiciel et, en particulier, de renforcer la synergie entre la recherche industrielle et les laboratoires publics.

Le fait que le logiciel constitue un enjeu technologique majeur se traduit :

1°) par l'identification de 8 technologies clés qui sont autant de thèmes fondamentaux entre lesquels peuvent se répartir les technologies logicielles de base :

(A) génie logiciel,
(B) technologies logicielles de l'informatique distribuée,
(C) technologies logicielles pour l'ingénierie des systèmes,
(D) technologies logicielles de la langue et de la parole,
(E) technologies logicielles pour le transport de données,
(F) technologies logicielles pour la sécurité des réseaux,
(G) technologies logicielles pour la gestion des données et du contenu,
(H) technologies logicielles de réalité virtuelle.

2°) par l'effet diffusant particulièrement fort de ces 8 technologies, qui constituent le support principal de nombreuses autres technologies clés (non seulement en ce qui concerne les TIC, mais aussi dans les autres domaines, en particulier les technologies et méthodes de conception, gestion et production) ; c'est ce que montre le tableau suivant, qui, pour chacune des 8 technologies logicielles de base (colonnes A à H), recense les principales autres technologies clés pour lesquelles elle constitue un point technologique critique.

	A	B	C	D	E	F	G	H
Rétines de prise de vue					X			
Transmission temps réel de contenus multimédia					X			
Systèmes auteurs pour la création de contenu multimédia	X			X				X
Objets communicants autonomes (identifiants intelligents, étiquettes)	X	X	X			X		
Assistants digitaux portables	X	X			X			
Infrastructures pour réseaux dorsaux haut débit			X					
Technologies de boucle locale			X					
Réseau domestique numérique					X			
Grands serveurs		X	X					
Technologies de spécification, de conception, de preuve, d'optimisation et de simulation de grands systèmes complexes			X					
Mesures et tests de systèmes			X					
Capteurs intelligents		X		X	X			
1.1. Modélisation complète de la transformation des matériaux et intégration dans des bases de données								
Ingénierie concourante	X	X		X	X		X	X
Réalité virtuelle augmentée pour la conception architecturale et technique								X
Imagerie médicale				X				
Chirurgie assistée par ordinateur (GMCAO)				X				
Architecture électronique - informatique répartie et multiplexage		X	X		X			
Sûreté des systèmes (embarqués et infrastructures)			X					
Ergonomie de l'interface homme-machine				X				X
Véhicules intelligents et communicants		X	X	X	X			
Outils de personnalisation de la relation client							X	

Agents intelligents		X						
Offre de produits et de services de grande consommation à base de réalité virtuelle				X				X
Outils de santé à la disposition des consommateurs		X		X	X	X	X	
Design sensoriel y compris la métrologie sensorielle							X	
Intermédiation et intégration de services pour l'Internet du futur		X			X	X	X	
Systèmes d'organisation et gestion industrielle améliorés		X	X				X	
Formalisation et gestion des règles métiers	X						X	
Outils d'aide à la créativité							X	
Représentation de la perception du consommateur							X	X
Simulation, modélisation du comportement humain (dans le poste de travail, face au produit…)							X	X
Multi-représentation des objets virtuels / qualité de la représentation			X				X	
Simulation numérique des procédés			X				X	
Représentation et gestion des processus de l'usine numérique		X	X				X	X
Supply Chain Management		X			X	X	X	
Soutien Logistique Intégré		X	X		X	X	X	

B - Les composants

La microélectronique, qui connaît une croissance moyenne de 15 % par an, tire l'ensemble de l'industrie des TIC en doublant la performance des produits ou en réduisant les coûts de moitié tous les 18 mois. Elle joue ainsi, aux côtés du logiciel, un rôle stratégique dans le secteur des TIC, notamment dans des domaines où l'Europe possède des atouts importants : les télécommunications à haut débit et mobiles, le multimédia, les cartes à puce, l'électronique automobile. Le marché européen des semi-conducteurs se répartit entre l'informatique (37%), les télécommunications (26%), l'électronique grand public (12 %) et l'automobile (11%), divers 14 %. Le soutien apporté aux efforts de R&D dans le cadre du programme MEDEA a contribué à l'amélioration des positions des 3 grandes sociétés européennes de la microélectronique, qui ont créé sur la période 1993-1998 environ 16.000 emplois directs et 50.000 emplois indirects.

Le domaine de la microélectronique couvre :

- le silicium [tc1], avec un large éventail d'applications : microprocesseurs, DSP, microcontrôleurs, systèmes sur puce, carte à puce, capteurs d'image [tc9], mémoire, mémoire de masse [tc4] électronique de puissance [tcxx] etc. Il s'agit en permanence d'augmenter les performances (vitesse, nombre de transistors intégrables sur une puce,…) tout en améliorant les autres paramètres (prix, consommation énergétique,…), ce qui impose de réduire la taille des dessins en deçà de 0.1µ (actuellement 0,12 en DRAM et 0,15 en CMOS logique) et d'augmenter la taille des puces (déploiement des unités de production en 300 mm).
- les composants hyperfréquences [tc5] et les composants optoélectroniques [tc6]: complémentaires des composants silicium, leurs applications sont plus spécialisées, mais prennent une importance croissante, notamment en télécommunications (téléphonie mobile, radiocommunications large bande et télécommunications optiques).

A ces domaines concernant strictement la microélectronique, il convient de rajouter les microsystèmes (microcapteurs ou actionneurs avec traitement du signal intégré) qui relèvent des mircotechnologies [tc2,90].

Les principaux enjeux technologiques relèvent :

➢ des technologies de base :

- matériaux : nouveaux substrats (silicium, SoI, [tc1], matériaux III-V AsGa, InP, SiGe [tc5], optoélectronique [tc6]), etc.
- équipements de production, technologies de gravures, fluides ultrapropres, [tc7]…

➢ des technologies de conception :

L'intégration croissante (loi de Moore) conduit à une "explosion" de la complexité, renforcée par le développement des systèmes sur une puce, pour lesquels l'Europe a pour ambition de détenir des positions clés, notamment grâce au nouveau programme MEDEA+. Les outils conception/simulation doivent prendre en compte les effets submicroniques, les nouvelles architectures synchrone/asynschrone, l'intégration de composants logiques et analogiques, le codesign (conception simultanée du composant et du logiciel associé pour raccourcir les délais de mise sur le marché).
Ces technologies de conception nécessitent des développements logiciels très importants (compilateurs, simulation matérielle des puces et cosimulation,…). [tc30, tc1].

➢ des technologies d'interconnexion et de "packaging" :

Ces technologies sont devenues de plus en plus complexe pour faire face à la montée en fréquences, à l'interconnexion optique, à l'intégration croissante des composants, aux nouveaux environnements (automobile, carte à puce), etc.. Il en est de même des technologies d'interface (écrans plats [tc8]) et d'alimentation en énergie [tc62].

C - L'Internet et les télécommunications du futur

Dans le cas des télécommunications, les besoins en terme de recherche sont particulièrement marqués. Ils se situent, entre autres, au niveau du logiciel, avec les problèmes de routage et de sûreté de fonctionnement dans des systèmes géographiquement distribués, particulièrement complexes ; au niveau de l'élaboration des protocoles de transport, notamment de données multimédia, pour lesquels la normalisation joue un rôle décisif ; et dans la conception même des composants de l'infrastructure (réseaux hauts débits, notamment optiques, etc.).

Les recherches lancées dans le cadre du réseau national de recherche en télécommunications couvrent des sujets stratégiques comme les composants optiques et électroniques, la mobilité, l'Internet à haut débit, la problématique de l'accès, la gestion des réseaux de télécommunications, les nouveaux terminaux, le développement des services et l'analyse des usages. Le rapport du RNRT sur l'Internet du futur a proposé d'orienter les recherches suivant les 4 priorités suivantes.

Les 4 priorités pour l'Internet du futur

Priorité 1 - Rapprocher l'information de son usage grâce à l'intermédiation et permettre à chacun de participer aux contenus en ligne : le développement d'Internet amène tous les jours plus d'utilisateurs, plus de contenus, plus de services en ligne. Il se rapproche ainsi du monde réel, avec toute sa complexité et toute la difficulté, pour quelqu'un, de s'y retrouver ou de se faire entendre. La première priorité doit donc permettre de maîtriser la complexité croissante de ce monde en rapprochant les informations de leur usage, et en facilitant au plus grand nombre l'accès à Internet en tant qu'utilisateur mais également producteur d'information.

- Instrumentation et personnalisation des contenus pour les rendre utilisables dans des contextes et par des utilisateurs très différents
- Appropriation des contenus par les utilisateurs et accès à l'information

- Certification, gestion des droits et marketing des contenus
- Apparition de terminaux très simples, dédiés à tel ou tel usage, et généralisation de l'accès aux contenus par n'importe quel moyen

Priorité 2 - Intégrer des flux audiovisuels et permettre leur intermédiation : il s'agit de donner la possibilité d'intégrer dans Internet de véritables séquences vidéos, en temps réel et avec une définition convenable. Les contenus audiovisuels doivent ainsi être accessibles et manipulables avec autant de simplicité que les contenus disponibles aujourd'hui sur Internet (texte, images fixes, sons).
L'objectif ici n'est pas de substituer Internet à la télévision ou à la vidéo mais bien de faire émerger de nouveaux usages et de nouveaux services, impensables sur les canaux multimédia actuels. Il s'agit également de permettre à tout un chacun la production, la manipulation, la diffusion et la consultation de telles informations. Dans ce domaine, la définition de nouveaux outils d'intermédiation pour les flux vidéo est importante.

- Généralisation de contenus vidéo très locaux destinés à des communautés spécifiques, avec la qualité de service nécessaire à l'usage souhaité
- Production, manipulation et publication de flux audiovisuels par des utilisateurs non spécialistes du sujet
- Généralisation des communications synchrones de flux audiovisuels, entre personnes mais également entre un serveur et un utilisateur dans le cadre, par exemple, d'une interaction de télé-immersion ou de monde virtuel (3D).
- Intégration des flux audiovisuels avec les autres contenus et outils Internet pour généraliser l'interactivité et l'intermédiation

Priorité 3 - Intégrer dans l'intermédiation les éléments essentiels de l'activité quotidienne : mobilité et activité en communauté : les besoins des utilisateurs dans leur vie quotidienne dépassent largement la simple consultation d'information sur le Web. L'Internet du Futur devra ainsi s'adapter au mode de vie des individus, en particulier à sa mobilité et au fait que chacun travaille la plupart du temps au sein de groupes d'individus qui coopèrent.

- Généralisation de la mobilité et de l'itinérance
- Collaboration entre des entités différentes (terminaux, équipements, utilisateurs, etc.) pour offrir de manière coordonnée un service adapté à la mobilité et à l'itinérance
- Généralisation de la notion de communautés virtuelles qui se gèrent elles-mêmes, avec une identité, une mémoire et une vie propre
- Possibilité pour une communauté ou un groupe de naviguer ensemble, et apparition d'un nouveau type d'utilisateurs d'Internet, les communautés

Priorité 4 – Adapter l'infrastructure aux besoins et aux usages : poursuivre l'ouverture en 3 mondes, améliorer l'ensemble des 3 mondes : l'Internet du futur sera structuré en trois mondes : les monde des métiers et des usages, le monde de la connectivité et le monde des intermédiaires. Chaque individu ou application dans ces mondes devra avoir un certain contrôle sur les applications mises en œuvre, de bout en bout : sécurité et protection des données personnelles, administration des services, gestion de

Source : rapport RNRT sur l'Internet du futur

Les enjeux scientifiques et technologiques

Les évolutions scientifiques

L'électronique

D'après le Japan Technological Forecast les enjeux des évolutions scientifiques dans le domaine de l'électronique concernent quatre domaines :

La microélectronique
- évoluer vers des tailles de plus en plus petites, jusqu'au niveau atomique
- améliorer la vitesse et la densité des semi-conducteurs (procédé au delà de 01 µm, DRAM au delà de 1Gb, mémoire non volatile type EEPROM,...)
- diminuer la consommation énergétique et améliorer la productivité
- améliorer la puissance des semi conducteurs (TIPS)

L'optoélectronique
- le développement des lasers
- la communication par fibres optiques
- les mémoires optiques
- les équipements optoélectroniques pour ordinateurs, imprimantes et photocopieurs

La nouvelle électronique
- l'électronique moléculaire vise à faire réaliser les fonctions par des molécules uniques
- la bioélectronique et les biopuces
- l'utilisation de l'électronique moléculaire et de la bioélectronique pour les capteurs

Le stockage et la visualisation
- l'amélioration du stockage : DVD ROM, DVD RAM et au-delà
- la visualisation : les écrans

Les technologies des télécommunications

Face à la croissance explosive de la téléphonie mobile et du trafic des données sur Internet , les thèmes prioritaires définis par le RNRT sont les nouveaux réseaux voix –données (Internet du futur) ainsi que les réseaux mobiles de troisième génération avec en corollaire la convergence fixe-mobile et voix-données. Les nouveaux services et les sujets liés à la boucle locale font également partie des priorités choisies par le comité d'orientation. Les orientations 1999 comportent quatre priorités

changer les méthodes de conception et d'exploitation des réseaux de télécommunications
accélérer la mutation des équipements de réseaux et des terminaux
développer les services et les usages
mettre en place des plates-formes d'intégration et d'expérimentation

Les technologies de l'information

Les enjeux des évolutions scientifiques dans le domaine des technologies de l'information concernent les trois domaines que sont :

les ordinateurs et les périphériques,
les réseaux,
les logiciels et algorithmes.

Ces évolutions technologiques sont à envisager en particulier quant à leur conséquences sur les technologies de l'Internet multimedia. Dans cette perspective l'encadré ci-contre reprend les priorités technologiques telles que repérées par le rapport Internet du futur du RNRT

Les 4 priorités pour l'Internet du futur

Priorité 1 - Rapprocher l'information de son usage grâce à l'intermédiation et permettre à chacun de participer aux contenus en ligne : le développement d'Internet amène tous les jours plus d'utilisateurs, plus de contenus, plus de services en ligne. Il se rapproche ainsi du monde réel, avec toute sa complexité et toute la difficulté, pour quelqu'un, de s'y retrouver ou de se faire entendre. La première priorité doit donc permettre de maîtriser la complexité croissante de ce monde en rapprochant les informations de leur usage, et en facilitant au plus grand nombre l'accès à Internet en tant qu'utilisateur mais également producteur d'information.

- Instrumentation et personnalisation des contenus pour les rendre utilisables dans des contextes et par des utilisateurs très différents
- Appropriation des contenus par les utilisateurs et accès à l'information
- Certification, gestion des droits et marketing des contenus
- Apparition de terminaux très simples, dédiés à tel ou tel usage, et généralisation de l'accès aux contenus par n'importe quel moyen

Priorité 2 - Intégrer des flux audiovisuels et permettre leur intermédiation : il s'agit de donner la possibilité d'intégrer dans Internet de véritables séquences vidéos, en temps réel et avec une définition convenable. Les contenus audiovisuels doivent ainsi être accessibles et manipulables avec autant de simplicité que les contenus disponibles aujourd'hui sur Internet (texte, images fixes, sons).
L'objectif ici n'est pas de substituer Internet à la télévision ou à la vidéo mais bien de faire émerger de nouveaux usages et de nouveaux services, impensables sur les canaux multimédia actuels. Il s'agit également de permettre à tout un chacun la production, la manipulation, la diffusion et la consultation de telles informations. Dans ce domaine, la définition de nouveaux outils d'intermédiation pour les flux vidéo est importante.

- Généralisation de contenus vidéo très locaux destinés à des communautés spécifiques, avec la qualité de service nécessaire à l'usage souhaité
- Production, manipulation et publication de flux audiovisuels par des utilisateurs non spécialistes du sujet
- Généralisation des communications synchrones de flux audiovisuels, entre personnes mais également entre un serveur et un utilisateur dans le cadre, par exemple, d'une interaction de télé-immersion ou de monde virtuel (3D).
- Intégration des flux audiovisuels avec les autres contenus et outils Internet pour généraliser l'interactivité et l'intermédiation

Priorité 3 - Intégrer dans l'intermédiation les éléments essentiels de l'activité quotidienne : mobilité et activité en communauté : les besoins des utilisateurs dans leur vie quotidienne dépassent largement la simple consultation d'information sur le Web. L'Internet du Futur devra ainsi s'adapter au mode de vie des individus, en particulier à sa mobilité et au fait que chacun travaille la plupart du temps au sein de groupes d'individus qui coopèrent.

- Généralisation de la mobilité et de l'itinérance
- Collaboration entre des entités différentes (terminaux, équipements, utilisateurs, etc.) pour offrir de manière coordonnée un service adapté à la mobilité et à lltinérance
- Généralisation de la notion de communautés virtuelles qui se gèrent elles-mêmes, avec une identité, une mémoire et une vie propre
- Possibilité pour une communauté ou un groupe de naviguer ensemble, et apparition d'un nouveau type d'utilisateurs d'Internet, les communautés

Priorité 4 – Adapter l'infrastructure aux besoins et aux usages : poursuivre l'ouverture en 3 mondes, améliorer l'ensemble des 3 mondes : l'Internet du futur sera structuré en trois mondes : les monde des métiers et des usages, le monde de la connectivité et le monde des intermédiaires. Chaque individu ou application dans ces mondes devra avoir un certain contrôle sur les applications mises en œuvre, de bout en bout : sécurité et protection des données personnelles, administration des services, gestion de

la qualité de service, programmation des services, gestion de la diffusion. La difficulté sera de répartir la responsabilité de ces contrôles entre les trois mondes, tout en s'assurant de la disponibilité, du passage à l'échelle, de l'interopérabilité, de l'évolutivité, de la puissance / capacité des débits et traitements et de la possibilité de facturer.

Interopérabilité et cohérence de l'ensemble, en particulier pour les fonctions qui sont gérées à la fois par les acteurs des trois mondes en fonction de leurs responsabilités respectives : sécurité, facturation, administration, maîtrise de la qualité de service, programmabilité des services.

Augmentation des performances des différents constituants des trois mondes, migration vers les nouvelles générations et maîtrise des constituants clés : migration et évolutivité, passage à l'échelle, haute disponibilité, augmentation de la puissance, de la capacité, des débits, maîtrise de certains composants de base.

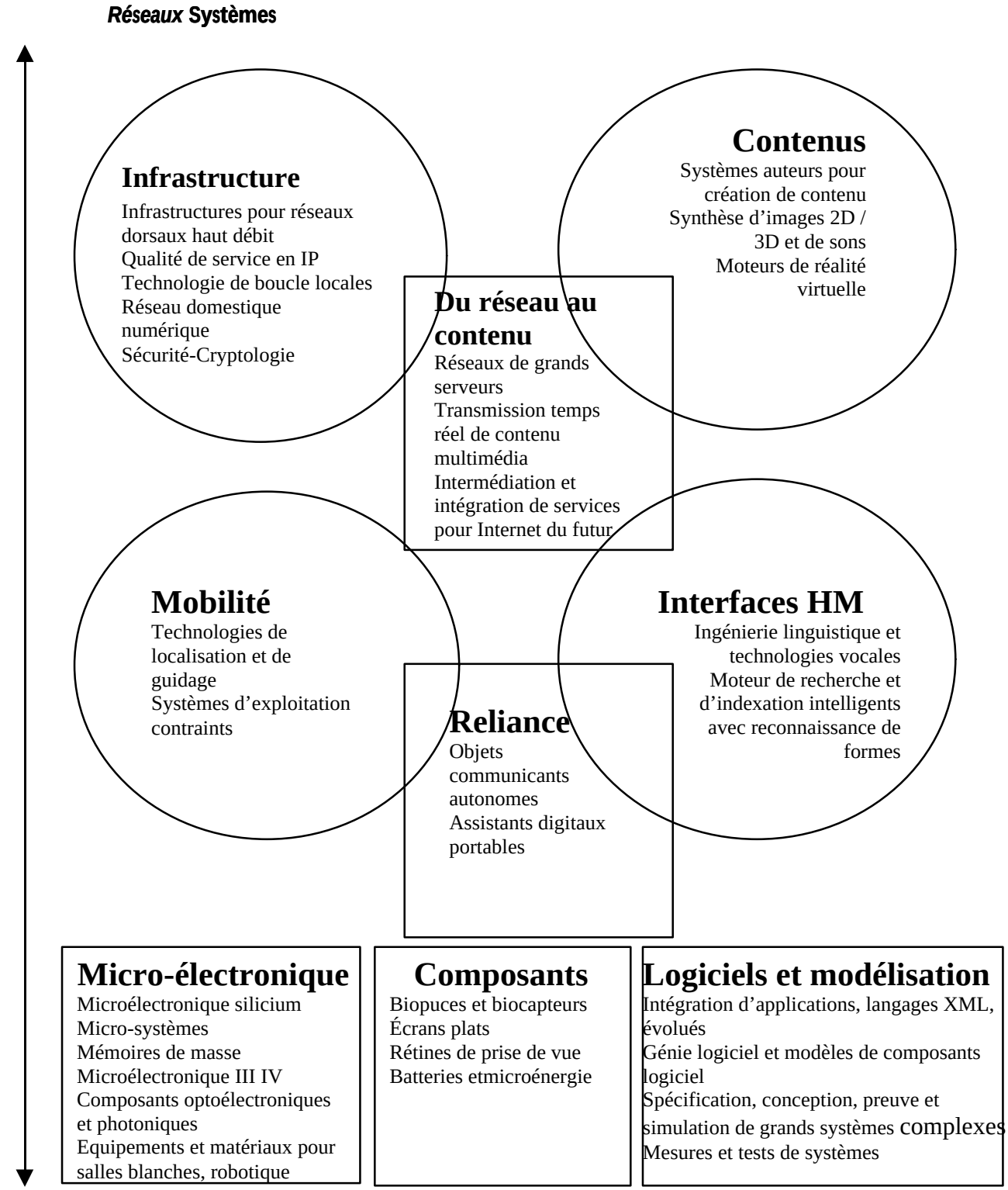
Source : ***rapport RNRT sur l'Internet du futur***

Les familles de technologies

Nous distinguons plusieurs familles de technologies en fonction de deux critères qui sont repris sur les deux axes du schéma en page suivante. Trois niveaux peuvent être distingués, celui des réseaux, celui des composants et celui de la fonction à l'utilisateur. Ces trois niveaux comportent à la fois des éléments matériels et des éléments logiciels/informationnels. Nous distinguons ainsi pour les réseaux, les infrastructures et les contenus, pour les composants, la microélectronique et le logiciel, pour les fonctions, les fonctions d'interfaces et les fonctions de mobilité. Le schéma en page suivante présente le regroupement des technologies clés par famille. Ces technologies répondent aux grandes fonctionnalités identifiées dans le tableau suivant.

Réseaux	Contenu	Interfaces	Mobilité
Communication Échange d 'information Accès aux contenus Qualité du service Sûreté de fonctionnement Sécurité des transactions en ligne	Création, production de biens et de contenus Stockage de l 'information	Dialogue Homme-machine Présentation de l 'information Personnalisation Traçabilité	Portabilité, mobilité, nomadisme Ubiquité

Les grandes familles TIC
Besoins / Technologies



II.2 - Matériaux - Chimie

Résumé

Les innovations dans les domaines de la Chimie et des Matériaux irriguent potentiellement la quasi totalité des secteurs économiques.
Les pistes de développement pour les années à venir sont extrêmement nombreuses : elles sont très liées à la recherche d'activités à plus haute valeur ajoutée par les producteurs, à la demande croissante de protection de l'environnement et à l'évolution des attentes des consommateurs finaux. Les enjeux d'innovation sont également très conditionnés par la sophistication des cahiers des charges des secteurs industriels utilisateurs : prise en compte du coût global de mise en œuvre, diversité croissante des critères de performance et attente de nouvelles fonctionnalités.

Face à ces enjeux, quatre objectifs apparaissent déterminants pour la recherche et le développement technologique dans les cinq années à venir :

- une meilleure maîtrise des procédés d'élaboration des matériaux
- une amélioration de la mise en œuvre des matériaux
- le développement de nouvelles propriétés pour les matériaux
- la mise au point d'outils accélérant la conception de nouvelles molécules ou nouveaux matériaux

A plus long terme, des progrès sont à attendre dans les domaines de la synthèse de précision, de la maîtrise de l'architecture des macromolécules et de la miniaturisation des unités de traitement chimique. Cette importance croissante du niveau moléculaire tend d'ailleurs à faire converger les domaines de la Chimie et des nouveaux matériaux.

Le domaine de la chimie et des matériaux est transversal au monde industriel puisqu'il fournit des matières premières à l'ensemble des autres secteurs de l'économie. De plus il présente une forte hétérogénéité tant pour la chimie - qui regroupe de nombreux produits depuis les commodités jusqu'aux spécialités les plus fines - que pour les matériaux.

Dans ce paysage contrasté, l'innovation technologique prend au moins deux visages. Elle relève en premier lieu de l'amélioration des produits et matériaux courants (aciers, verres, non ferreux, plastiques, commodités). Comme l'a souligné le précédent rapport, cette évolution est pour partie invisible, d'une part parce qu'elle se traduit le plus souvent par une substitution dans une même famille de produits, et d'autre part parce que la diminution des quantités de matière incorporée (par exemple par l'allègement des structures ou l'optimisation des formulations) y est la règle. L'innovation procède en second lieu de la mise au point de matériaux et produits nouveaux souvent incorporés par les industries de pointe pour des marchés de niches avant de trouver parfois des applications de grande consommation.

Plus encore que dans d'autres secteurs, l'innovation de produit et l'innovation de procédé sont très fortement entrelacées dans le domaine chimie - matériaux. En effet l'innovation-produit que constitue la mise au point ou l'amélioration d'un matériau doit être accompagnée d'une innovation-procédé cruciale pour sa production industrielle à un coût acceptable ainsi que d'innovations chez les industriels utilisateurs pour l'incorporation du matériau dans leurs produits et leurs procédés. L'innovation doit ainsi prendre en compte de façon simultanée le Matériau (que produire ?) la Maîtrise des filières de production (comment produire ?) et les Marchés utilisateurs (pour qui produire et pourquoi produire ?). Ceci permet de comprendre la longueur du cycle d'innovation et l'inertie technologique, caractéristiques du secteur.

Si la problématique des 3M (matériau / maîtrise / marchés) décrite dans l'exercice précédent reste forte, il faut toutefois noter que l'évolution du métier des industriels tant de la chimie que des matériaux vers des métiers à plus forte valeur ajoutée laisse aujourd'hui une place importante à l'innovation organisationnelle. Ainsi des questions telles que la capitalisation des connaissances, la productivité de l'innovation et plus largement les modes de gestion des compétences sont au cœur de la compétitivité de ces secteurs.

Contexte économique

Panorama général

La chimie

Une classification courante des activités de la chimie distingue la chimie de base de la chimie fine. La première fabrique des produits de gros tonnage, en peu d'étapes de réaction, à partir de matières premières facilement accessibles, dans des installations de grande capacité mobilisant des capitaux importants. Cette chimie que l'on qualifie aussi de chimie lourde, est composée de 2 sous-secteurs, *la chimie minérale* qui utilise essentiellement l'eau, l'air, le sel, le soufre et les phosphates pour produire de l'acide sulfurique et ses dérivés, des produits obtenus par électrolyse comme le chlore ou la soude, des gaz comprimés, et des produits plus élaborés comme les engrais et *la chimie organique* qui traite principalement de la pétrochimie et de son aval, les matières plastiques, le caoutchouc synthétique et les élastomères. Les « grands intermédiaires » de la chimie organique sont notamment l'éthylène, le propylène, le butadiène, le benzène, l'éthanol, l'acétone,.... Pour sa part, la chimie fine élabore des molécules complexes issues d'un processus de recherche et développement à partir des produits de la chimie lourde, notamment des « grands intermédiaires » et aussi d'extraits végétaux ou animaux. Elle en effectue la production par de nombreuses réactions chimiques en série. Les produits, obtenus en

quantités beaucoup plus modestes que dans la chimie lourde peuvent être très coûteux, comme par exemple les principes actifs des médicaments. La parachimie correspond à la fabrication des produits possédant des propriétés bien définies pour un usage spécifique : savons et détergents ; produits de beauté ; peintures, laques, vernis et encres ; produits d'entretien ; colles et adhésifs ; produits de protection des plantes ; surfaces sensibles pour la photographie ; explosifs,.. Ces produits sont largement diffusés dans tous les secteurs industriels et auprès du grand public.

L'industrie chimique française (y compris la pharmacie) se situe au quatrième rang dans le monde après celle des Etats-Unis, du Japon et de l'Allemagne. Avec 55 % de ventes réalisées à destination des marchés étrangers, la France est le troisième exportateur mondial de produits chimiques et pharmaceutiques après l'Allemagne et les Etats-Unis. En 1998, l'industrie chimique française a été le deuxième secteur industriel contribuant à l'excédent de la balance commerciale de la France. Avec près de 40 milliards d'euros d'exportations pour 32 milliards d'euros d'importations, elle présente un solde positif de 8 milliards d'euros. L'excédent du commerce extérieur de l'industrie chimique française, en francs courants, a augmenté de 106 % entre 1985 et 1998.

L'industrie chimique joue un rôle pivot dans l'économie française : d'après les chiffres de l'UIC pour l'année 1998, elle est le deuxième secteur industriel par l'importance de son chiffre d'affaires, elle emploie 8 % de la main-d'œuvre travaillant dans toute l'industrie, elle représente 16 % de la valeur ajoutée de l'industrie nationale, ses investissements atteignent 18 % de l'ensemble des investissements industriels, ses dépenses de recherche représentent 18 % de celles effectuées par l'industrie française. Cette industrie représente 70 milliards d'euros de chiffre d'affaires (dont 8,2 % chimie minérale, 26,3 % chimie organique, 16,8 % savons et parfums, 18,3 % parachimie et 30,4% pour les médicaments), 1 150 entreprises (de plus de 20 salariés), 236 500 salariés. Par la taille de ses entreprises, comme par la variété de ses produits, l'industrie chimique est une branche aux multiples visages. A côté de groupes de dimension internationale, elle compte un grand nombre de petites et moyennes entreprises. 950 d'entre elles emploient moins de 100 personnes.

Cette industrie se caractérise par un niveau important de dépenses de recherche-développement, en vue notamment d'assurer un rythme soutenu de renouvellement de ses produits. Les dépenses de recherche et développement ont ainsi atteint près de 4.5 milliards d'euros en 1998 alors qu'ils n'étaient que de 3 milliards d'euros 98 en 1986. La vaste gamme des productions de l'industrie chimique (on dénombre à l'heure actuelle quelque 30 000 molécules produites et commercialisées par les entreprises chimiques françaises) va des grands produits de base minéraux et organiques aux médicaments en passant par les engrais, les matières plastiques, les arômes, les colles, les produits de beauté,...

Elle contribue de façon déterminante au développement des autres secteurs de l'économie. Liée en amont aux secteurs fournisseurs de ses principales matières premières, notamment les produits pétroliers, le gaz naturel, les produits agricoles,... elle fournit, en aval, tous les secteurs industriels et intervient dans des domaines aussi divers que l'alimentation, l'habitat, la santé, l'hygiène, les transports, la culture, les sports, les loisirs, la communication et bien d'autres secteurs encore.

Selon les estimations établies par la Commission de Conjoncture de l'UIC, la croissance de l'industrie chimique française aurait été, en volume, de 3,2 % en 1999 et serait de 4,9 % en 2000. Cette croissance est due à l'amélioration de l'environnement international (reprises en Europe, en Asie et au Japon, demande soutenue en provenance des Etats-Unis) mais surtout à la bonne tenue de la demande intérieure. Le niveau élevé de la production automobile et le redressement significatif du secteur de la construction profitent aux produits de la chimie organique (les matières plastiques) et à ceux de la parachimie (peintures, colles). Quant à la consommation des ménages, son niveau détermine pour partie la production du secteur des savons, parfums et produits d'entretien.

Les matériaux

Les différents secteurs sont mentionnés ici pour mémoire, leurs problématiques sont détaillées par les secteurs utilisateurs dans les chapitres correspondants. La croissance durable de l'économie européenne va se traduire pour les biens intermédiaires par une évolution favorable de la demande en matériaux et demi-produits par les secteurs industriels avals (automobile, emballage). Ce mouvement bénéficiera aux secteurs offrant des produits à haute valeur ajoutée.

Le secteur des matériaux de construction et des produits en céramiques représente près de 13 milliards d'euros. Il est très diversifié par la taille des entreprises, les marchés et les techniques. L'industrie cimentière en est le fleuron technologique, elle travaille à plus de 70 % pour le bâtiment. D'ici 2003 sa croissance sera ainsi limitée à 1,5 % par an. Dans un secteur légèrement déficitaire, cinq segments ont de bonne performance à l'exportation : les produits réfractaires, les ciments et les chaux, les tuiles et les produits sanitaires.

L'industrie des métaux ferreux regroupe la sidérurgie (fonte, aciers bruts, produits finis laminés en aciers courants ou alliés), la fabrication de tubes en fonte et en acier et la première transformation de l'acier (étirage, laminage, profilage, tréfilage, production de ferroalliages). Elle représente près de 20 milliards d'euros. Depuis 1997, elle profite de la reprise économique générale , de la reconstitution des stocks et de la reprise des investissements. Fortement exportatrice, à plus de 45 % de sa production, la sidérurgie française conserve une position de premier plan au niveau européen en matière de productivité. Des efforts importants de recherche portent sur le développement de produits à fort contenu technique et à forte valeur ajoutée (acier au carbone, inoxydable) et à la réduction des coûts de fabrication.

L'industrie des métaux non ferreux regroupe la métallurgie et la première transformation en produits semi-finis. Ce secteur représente 9 milliards d'euros. Il est dominé par l'aluminium (Péchiney). C'est un marché sensible aux mouvements conjoncturels qui bénéficiera d'ici 2003 du dynamisme des biens d'équipement (+ 2,5 % par an). Des matériaux en aluminium renforcé pourraient permettre à l'aluminium de trouver de nouveaux débouchés tels que des pièces sous capot moteur.

Les services industriels du travail des matériaux représentaient 12 milliards d'euros en 1997. Ils regroupent différentes activités réalisées en sous-traitance tels que les traitement des métaux, le décolletage, la métallurgie des poudres, le découpage, l'emboutissage. 2 200 entreprises y employaient 126 000 personnes en 1997. Les demandes des donneurs d'ordre évoluent (juste à temps, qualité, flux tendu, flexibilité) et conduisent les entreprises à une double mutation : d'une part une politique d'alliances avec des entreprises de métier équivalent afin de répondre aux exigences de taille critique et d'autre part la recherche de sous-traitants exerçant des métiers complémentaires pour pouvoir fournir des pièces de fonctions ou même des sous-ensembles.

Au total, les industries mécaniques représentaient en Europe un chiffre d'affaires de 298 milliards d'euros en 1997 et gardent la position de premiers producteurs mondiaux malgré la montée en puissance de la production américaine.

Avec une croissance de 10 % par an et une augmentation de 30 % des investissements en 1998, la transformation des matières plastiques est une industrie dynamique, réactive et innovante qui réalisait un chiffre d'affaires de 20 milliards d'euros en 1997. En France 1 300 entreprises de plus de vingt salariées employaient en 1997, 131 000 personnes. L'innovation et la réactivité des entreprises permettent aux plastiques de poursuivre leur substitution aux autres matériaux dans de nombreux secteurs : automobile, bâtiment, emballage, aéronautique, spatial, médico-chirurgical. La croissance prévue est de 3,8 % par an jusqu'en 2004.

Le marché des nouveaux matériaux se développe avec de nouvelles applications. Le dynamisme de l'aéronautique a stimulé les innovations dans les composites tels que les composites à matrice carbone-carbone utilisés dans les freins d'avions ou de Formule 1 mais aussi pour les pistons graphites de berlines de série haut de gamme ou encore les composites à matrice organique utilisés pour les arbres de transmission dans l'automobile. Pour les thermoplastiques techniques, la croissance se poursuit du fait de la multiplication des alliages, de grade de haute productivité et de structures hybrides (plastique / métal). Le PET emballage connaîtra ainsi une croissance annuelle de plus de 12 % par an jusqu'en 2002 ; les plastiques haut de gamme, une croissance de près de 16 % par an.

Le secteur des articles textiles (tissés, non tissés, TUT : textiles à usage technique) représente 5 milliards d'euros ; en amont, celui des fibres artificielles (viscose, acétate de cellulose,..) et synthétiques (polyamides, polyesters, polyuréthanes) moins de 1 milliard. Le secteur textile se maintient grâce à son savoir-faire mais reste sensible à la mondialisation. La tendance est à la concentration et à l'internationalisation des groupes tout en conservant de petites structures spécialisées et dynamiques. L'innovation technologique cherche à créer de nouveaux marchés en particulier pour les TUT, par le développement de nouvelles fibres (technofibres, chlorofibres, microencapsulation, fils anti-bactériens, anti-acariens, tissus et fibres à effet climatique). Le secteur des fibres connaît aussi une forte innovation technologique (association de différentes fibres, utilisation de « filières » de plus en plus spécifiques, traitements par ionisation, additifs,.., fibres obtenues par génie génétique, couleur obtenue sans colorant par gravure laser).

	Taux de Croissance Annuel Moyen 1997 – 2004	
	France	Europe
Sidérurgie	1.7	1.5
Aluminium	1.7	2.0
Ciment	1.1	1.5
Plastique	3.6	4.0
Verre plat	2.8	-
Fibres de verre	1.7	-

Source BIPE

La transformation des métiers et des structures industrielles

Cette transformation comprend plusieurs phénomènes :

- l'intégration des compétences,
- la recherche d'activités à plus forte valeur ajoutée,
- la concentration des acteurs et l'intégration aval.

L'exemple de la plasturgie illustre la nécessité pour les industriels d'intégrer un nombre croissant de compétences : c'est en particulier le passage du métier de fournisseur de technologies évalué sur son expertise à celui de fournisseur de sous-systèmes évalué sur ses compétences d'architecte multi-matériaux et multi-technologies.

La plasturgie est un secteur composé de PMI reconnues pour leur dynamisme et leur capacité d'innovation. 6 à 7 % du CA des grandes entreprises du secteur que sont Plastic Omnium et Sommer Alliber est consacré à la R&D. Les évolutions touchant les procédés, les matières et l'utilisation de l'informatique ont été incessantes ces dernières années : intégration dans un même procédé d'étapes réalisées séparément, procédés propres et CAO. Les résultats présentés par Ernst & Young dans une étude de 1997 à l'horizon 2005 pour le SEI confirment l'existence de tendances lourdes : baisse des prix sur l'ensemble des marchés, pas de révolution dans les technologies mais des évolutions permanentes sur les procédés, les matières, les outils de conception et de gestion industrielle, globalisation et internationalisation croissantes, accélération de la concentration et des rachats.

Le domaine de la chimie est engagé dans la course aux produits à plus forte valeur ajoutée. Délaissant la chimie de base, la quarantaine des grands groupes mondiaux repensent leurs stratégies afin de devenir des champions des spécialités. Il leur faut alors identifier les niches les plus porteuses et y grossir le plus rapidement.
La concurrence sur les prix reste toutefois forte et s'accompagne de la compression des marges. Ceci provoque la multiplication des fusions-acquisitions et alliances sous la pression des mégafusions dans le pétrole. Les chimistes sont chacun engagés dans une cinquantaine d'alliances en moyenne.

Les filières semblent par ailleurs évoluer vers une plus forte intégration aval. Ainsi par exemple la filière des matériaux de construction rassemble un grand nombre de produits du ciment au granulat et du plâtre à la céramique. Il est cependant dominé par le béton et ses dérivés, tel que le béton prêt à l'emploi. L'évolution de la filière est marquée par une rationalisation des activités et une forte croissance externe souvent conjuguée avec le développement international pour renforcer des positions dominantes. Elle se caractérise également par une intégration aval vers la distribution dans une optique de réduction de la sensibilité aux cycles et de captation des marges. Cette filière est par ailleurs marquée par l'émergence de grands groupes spécialisés au détriment de majors multi-spécialistes.

Evolution de la demande

L'industrie chimique couvre une multitude de produits qui ont leurs débouchés à la fois auprès du consommateur final et auprès des secteurs industriels et agricoles.
Au-delà de la demande croissante de prise en compte de l'environnement, l'analyse de l'évolution de la demande doit donc distinguer les tendances de la demande finale (la consommation) de la dynamique des secteurs utilisateurs.

La demande croissante de protection de l'environnement

L'industrie chimique et les filières matériaux ont longtemps eu l'image d'une industrie polluante, image confortée par des catastrophes écologiques médiatisées (Bhopal, Séveso,...). Face à cet état de fait, elles ont travaillé à réduire leurs effets polluants et à améliorer leur communication vers les populations concernées pour plus de transparence. Des évolutions marquantes ont eu lieu tant sur les produits que sur les procédés de production et la formulation. La pollution des sites industriels est aujourd'hui majoritairement maîtrisée grâce aux nombreux investissements matériels et immatériels réalisés pour la mise au point de procédés propres, la diminution des déchets industriels ou encore la neutralisation des fumées.

De nombreux produits de grande consommation et d'équipement des ménages contribuent aux phénomènes de pollution médiatisés tels que la destruction de la couche d'ozone, la faible qualité de l'air en ville (qui a favorisé le développement de l'essence sans plomb, des pots catalytiques, des peintures sans solvant), la pollution de l'eau (qui a conduit au développement des lessives sans phosphates), la prolifération des déchets en particulier d'emballage. De même, si le secteur agricole est aujourd'hui montré du doigt comme le principal pollueur de l'eau, c'est pour partie du fait des pesticides, herbicides et engrais.

Plus généralement les industriels des matériaux et leurs industries clientes sont concernés par le devenir de leurs produits après utilisation. La gestion du cycle de vie des produits et les démarches « du berceau à la tombe » se généralisent.

Les tendances de la demande finale

La demande s'exprime pour partie par la demande des consommateurs en termes de caractéristiques des produits finaux mis à leur disposition mais aussi plus généralement par la modification d'un certain nombre de valeurs et attitudes qui se répercutent jusque sur les conditions des marchés industriels (business to business).

Parmi les grandes tendances de l'évolution de la consommation relevées par le CREDOC, quatre sont particulièrement pertinentes pour le secteur chimie / matériaux :

1. le besoin de rassurance et la demande de produits non allergisants et fiables
2. la demande de praticité et personnalisation pour les produits grand public
3. la demande de confort sensoriel et de design

Le besoin de rassurance : la demande de produits non allergisants et fiables

Au-delà du respect de l'environnement, deux attentes particulières sont exprimées par les consommateurs envers les produits : qu'ils soient fiables et sans danger pour la santé. Le nombre d'allergies est en progression sous le double effet de la pollution et d'une meilleure détection de ces troubles. La plus grande sensibilité aux allergies amène les producteurs à travailler sur des produits qui présentent peu de risques et à mettre l'accent sur la sécurité liée à leur utilisation.

De plus en plus de produits d'entretien, de peintures, de solvants sont ou doivent présenter des garanties d'innocuité. Plus généralement, la demande de sécurité implique d'avoir des produits fiables. Pour les produits d'entretien, cela se traduit par des produits non inflammables, sans émanation toxique. Pour les produits alimentaires, la tendance est aux produits « bio », sans engrais ni pesticides.

La demande de praticité et de personnalisation pour les produits grand public

Le consommateur est friand de toutes les innovations qui peuvent améliorer la praticité et la simplicité de fonctionnement. Les enquêtes CREDOC montrent combien les ménages aspirent à plus de loisirs, comme par exemple le bricolage et le jardinage. Au sein des dépenses de loisirs, les dépenses de bricolage ont fortement augmenté ces dernières années (40 millions de bricoleurs en Europe dont 70 % d'hommes). Trois ménages sur quatre réalisent eux-mêmes les travaux d'entretien et de réparation de leur logement, pour partie par souci d'économie. La féminisation du bricolage a déjà modifié l'offre des professionnels qui privilégient la simplicité et la praticité. La facilité d'utilisation et l'absence d'odeurs sont mises en avant pour les peintures (monocouche, multi-usages,…), les plâtres et ciments, les revêtements faciles à poser et à entretenir,…

La demande de confort sensoriel et de design

La recherche en matière de fibres accorde une importance croissante au toucher et à la douceur. Les tissus synthétiques doivent avoir l'apparence d'un produit vivant, présenter toutes les qualités des textiles naturels, comme par exemple le toucher de la soie, et si possible des avantages en plus (facilité d'entretien,…).

La tendance est à une esthétique ronde et chaleureuse. Le consommateur se tourne vers les produits aux formes arrondies qui rassurent tout en instaurant un rapport de plaisir à l'objet. Dans ce contexte, le plastique a le vent en poupe, il contribue à abaisser les coûts dans le secteur de biens de consommation.

Plus généralement, la demande actuelle conforte la recherche de matériaux plus légers, qui permettent d'allier l'esthétique par une apparence plus fine à la solidité et à la résistance (bétons sans armature, allègement du verre creux, thermo-plastiques rigides et résistants).

La dynamique des secteurs utilisateurs

Les industriels de la chimie et des matériaux contribuent souvent fortement, tant en termes de coût que de qualité liée, à la chaîne de valeur de leurs clients industriels. C'est la bonne compréhension de la valeur créée pour le client qui assure une bonne compétitivité.

Les marchés utilisateurs sont demandeurs d'évolution de trois types :

de coût : celui-ci dépend de plus en plus fortement de l'industrialisation des procédés d'élaboration et de mise en œuvre des produits et matériaux proposés ; en particulier la flexibilité de mise en œuvre du matériaux contribue à l'avantage coût pour l'utilisateur ;

de performances : les critères de performance sont de plus en plus diversifiés ; qualité mais aussi reproductibilité, allègement, durabilité, fiabilité, recyclage, …sont demandés ;

de nouvelles fonctions : les matériaux dits intelligents qui font preuve d'adaptabilité et d'auto-surveillance constituent dans ce domaine la principale innovation.

Le matériau est très souvent à la base d'innovations sectorielles : ainsi la problématique du stockage de l'énergie et l'industrialisation de la supraconductivité, la réduction de la masse et du bruit des véhicules automobiles, la problématique du désassemblage et du recyclage en fin de vie des produits de consommation et d'équipements sont pour beaucoup affaires de matériaux. De même les besoins des technologies de l'information, par exemple pour concevoir des semi-conducteurs haute température pour l'informatique embarquée ou encore les besoins des professionnels de 1a santé pour l'appareillage médical, les implants biocompatibles et métabolisables, qui demanderont des nouveaux matériaux. Pour plus d'informations sur les dynamiques propres à ces secteurs, nous renvoyons le lecteur intéressé aux autres chapitres de cet ouvrage.

Les enjeux en terme d'innovation

La dynamique de l'évolution des industriels de la chimie et des matériaux peut être retracée en trois mouvements :

1. la limitation à l'introduction des innovations de produits,
2. la place prépondérante des innovations de procédés,
3. le rôle des innovations et des compétences organisationnelles.

La limitation à l'introduction des innovations de produits

Comme l'a noté le rapport précédent, il existe des limitations fortes à l'introduction au plus vite de nouveaux produits ou matériaux. Les effets de parc liés aux équipements existants des filières de production et aux habitudes des concepteurs chez les utilisateurs en font partie. Ainsi, l'innovation d'un nouveau produit ou matériau doit s'accompagner d'une réflexion sur les possibilités d'en faciliter son adoption. Il s'agit en particulier de pouvoir communiquer aux utilisateurs des prévisions fiables sur les caractéristiques des matériaux après mise en œuvre, sur leurs modalités de vieillissement et d'endommagement ainsi que sur les performances en service.

Comme nous l'avons vu au paragraphe précédent, les demandes spécifiques des secteurs utilisateurs entretiennent une innovation produit. Ainsi, la révolution du plastique n'est pas encore terminée : la substitution avec les métaux continue dans l'automobile et passera demain par les besoins du monde de l'électronique pour les transistors, disques durs et écrans.

Comme développé ci-dessus, la problématique environnement, le développement de l'utilisation de matières premières végétales et l'innocuité pour la santé humaine sont aussi des moteurs importants d'innovation.

La place prépondérante des innovations de procédés

Dans le domaine des matériaux, les innovations concernent avant tout les procédés d'élaboration, de traitement de surface et de mise en œuvre. Ceux-ci se perfectionnent et contribuent de façon croissante à la performance des matériaux pour donner des pièces plus belles, plus résistantes, intégrant de nouvelles fonctionnalités, comme par exemple la transformation des plastiques qui privilégie l'amélioration de la reproductibilité. L'élaboration des matériaux passe par une plus grande modélisation. Les métallurgistes sont aujourd'hui capables de produire la bonne microstructure qui confère les propriétés d'usage recherchées, propriétés tant mécaniques que physico-chimiques.

L'évolution vers la continuité du process et la complexification des filières de production des matériaux regroupant des étapes d'élaboration, d'assemblage, de mise en œuvre et de traitements de surface, déjà relevée dans le rapport précédent, va se poursuivre dans les années 2000-2005. Les technologies de collage ont par exemple largement diffusé depuis 5 ans, même si des axes d'amélioration existent encore dans ce domaine.

Pour la chimie de base européenne, la compétitivité passe par la mise au point de grosses unités de production à forte productivité. Ces unités sans hommes sont capables d'adapter elles mêmes la nature des productions en fonction du cours des matières premières. C'est cette intensité capitalistique croissante qui a permis aux pétrochimistes européens de maintenir leur compétitivité face aux concurrents asiatiques.

Le rôle des innovations et des compétences organisationnelles

45 innovations majeures ont été recensées dans la chimie pendant les années 40 et seulement 5 dans les années 90[17]. De même, seulement 202 nouveaux produits ont vu le jour en 1992-1993 alors qu'ils étaient 290 en 1984-1985. Les produits lancés ces cinq dernières années ne représentent que 5 à 10 % des ventes de l'industrie chimique. Pourtant, les dépenses de R&D sont passées de 4 à 5 % du CA : il s'agit donc de rendre la R&D plus efficace et de comprendre où elle se situe aujourd'hui.
L'innovation s'est déplacée sur les applications et les adaptations, l'amélioration des produits nécessitant par ailleurs de plus en plus d'argent. L'évolution vers la chimie de spécialités nécessite d'être proche du client en lui proposant des solutions sur mesure, des nouveaux produits et des services. L'innovation se concentre donc sur les procédés industriels, les relations avec les clients, l'utilisation intensive de l'informatique (base de données, datawarehouse) et les techniques du *knowledge management.*

Par ailleurs l'industrie chimique est encore fondée sur une logique de produits vendus par une armée de distributeurs. Seuls les industriels qui vont se reconfigurer pour faire face aux nouveaux entrants

[17] source Kline & Co

purement virtuels survivront[18]. C'est l'occasion de repenser les réseaux de distribution et d'exploiter un potentiel de réduction des coûts estimés à 10-12 %. Le succès serait fondé demain sur la propriété et le contrôle non des usines mais de réseaux de clients internautes.

Ainsi la chimie devrait être le premier acteur du commerce électronique interentreprises à l'horizon 2004 avec 23 % des transactions[19]. Ceci nécessitera un dispositif dual avec, pour les grosses transactions répétitives sur des produits assez banalisés, un dispositif d'achat à bas coûts permettant l'achat en ligne avec un minimum d'informations techniques. Toutefois ceci ne représenterait que 20 % des ventes. Pour les transactions à forte valeur ajoutée avec des clients stratégiques (60 à 80 % des ventes), un système fournissant un niveau d'information (disponibilité) et d'assistance technique élevé devra être mis en place. Cette évolution de la distribution accompagne et encourage l'évolution d'une organisation par produits vers une organisation par marché et type de clients.

Ainsi les activités immatérielles prennent une place croissante chez les industriels. La capitalisation du savoir-faire (par exemple par des systèmes experts) et des connaissances (logiciel, gestion de projets, compréhension du client,..) ainsi que leur transfert du concepteur au producteur et à l'utilisateur du matériau sont les prochains enjeux des industriels du secteur.

Les enjeux scientifiques

Au-delà des efforts de recherche et développement mis en œuvre par les industriels en collaboration plus ou moins étroite avec la recherche publique, il existe une dynamique scientifique liée à l'activité propre des équipes de recherche pilotées par les pouvoirs publics. Ainsi des évolutions scientifiques se dessinent et créent un espace de possibles qui seront investis (ou pas) par les industriels. C'est l'un des enjeux du couplage industrie – recherche.

La dynamique scientifique actuelle

Les compétences accumulées par les différentes équipes au fil des années constituent un capital qui a porté ses fruits et qu'il faut encore faire fructifier. Ainsi pour les matériaux métalliques, les évolutions scientifiques trouvent leur origine dans l'évolution des moyens d'investigation et dans la capitalisation des connaissances acquises à travers des modélisations et des simulations de plus en plus pluridisciplinaires (alliant physico-chimie, mécanique et thermique) et complexes. Les techniques expérimentales ont évolué du niveau macroscopique au niveau atomique. Les nouveaux moyens d'investigation tels que les microscopes électroniques, en champ proche ou atomique, ont généré de nouveaux types de données telles que des images. Ceci a permis le développement du contrôle non destructif (CND) et annonce une métallurgie prédictive. La généralisation du recours à la modélisation et à la simulation a grandement fait évolué les connaissances sur le comportement mécanique des matériaux métalliques et a permis d'améliorer leur conception (MAO), de maîtriser l'endommagement et la rupture et d'optimiser les formes par recours au calcul de structures. Les verrous se situent aujourd'hui lors des changements d'échelle dans les modélisations du comportement mécanique et dans la mauvaise connaissance des grandeurs physiques à introduire dans les modèles et simulations numériques.

Pour les matériaux non métalliques, ce sont les polymères qui suscitent le plus de développement de nouvelles propriétés et de nouveaux usages, les céramiques et composites restant cantonnés à des usages moins vastes.

[18] source Andersen Consulting
[19] source Goldman Sachs

Dans le domaine de la catalyse (qui concernera environ 30 % de la chimie de demain), l'enjeu actuel concerne principalement la catalyse hétérogène et la mise au point de nouveaux catalyseurs ayant une plus grande activité et une plus grande sélectivité.

La prospective

D'après le cinquième et dernier Japan Technological Forecast, les principales évolutions de la recherche à l'horizon 2005-2030 peuvent être regroupées en quatre tendances :

les synthèses de précision et la maîtrise des structures jusqu'à la manipulation d'atomes et de molécules,

l'introduction de l'informatique de haut niveau pour l'élaboration des nouveaux matériaux et des nouveaux procédés à partir de données de base dans les domaines de la chimie théorique, de la chimie quantique et de la dynamique moléculaire,

la compréhension des fonctionnements biologiques et leur introduction dans le développement de procédés et de matériaux de haute performance,

le développement de solutions en termes de matériaux et de procédés aux problèmes globaux tels que ceux posés par les ressources naturelles, l'énergie, l'environnement.

De façon plus générale, les experts s'accordent sur l'importance croissante du niveau moléculaire qui tend à faire converger la chimie et les nouveaux matériaux. Cette tendance se traduit déjà par la mise au point de nouveaux matériaux (nanocomposites et renforts nanométriques) et de l'utilisation de la modélisation moléculaire en vue de la prédiction des propriétés physico-chimiques de polymères.
A plus long terme, trois voies de recherche semblent porteuses.

Organiser la matière en ordonnant l'architecture des macromolécules

Alors qu'il y a dix ans on aurait pu croire que l'essentiel de la recherche sur les polymères avait été fait et que leurs domaines d'application étaient globalement bien définis, de nouveaux horizons sont apparus avec la découverte de catalyseurs susceptibles de rationaliser l'architecture des polyéthylènes, pour étendre le domaine d'application des polymères. Les catalyseurs métallocènes (dérivés des polyoléfines) sont en effet capables d'orienter la synthèse de la macromolécule de polyéthylène en ordonnant géographiquement les monomères. Il en découle un produit surprenant qui fait du matériau de base utilisé pour l'emballage, un matériau technique aux applications multiples telles que les gilets pare-balle.

Maîtriser la matière au niveau moléculaire ou atomique

C'est l'objet des nanotechnologies qui visent à effectuer une synthèse de précision en employant de nouveaux systèmes de contrôle et de manipulation d'atomes ou de molécules. La recherche en la matière n'en est qu'à ses débuts. De nombreux verrous persistent même si les premiers résultats laboratoires tangibles ont été observés, notamment par la mise au point des fullerènes (troisième structure cristalline du carbone avec le diamant et le graphite). Ces verrous concernent notamment la maîtrise des instruments d'observation et de manipulation des objets à l'échelle atomique (microscope à effet tunnel ou microscope à force atomique) et concernent également la stabilisation des processus de fabrication comme par exemple la vaporisation / re-condensation du graphite dans un arc électrique. Les applications envisagées à ce jour pour de telles nano-molécules sont le transport de molécules dans le corps humain, les piles solaires, les renforts de composites aéronautiques,... Les experts américains s'accordent sur 2010 pour l'apparition des premiers produits issus des nanotechnologies (assembleurs moléculaires) et 2040 pour l'objectif ultime des nano-ordinateurs. Seuls les renforts de composites pourraient voir le jour avant 2005.

Transférer les technologies de l'électronique pour miniaturiser des unités de traitement chimique (micro-usine)

L'objectif est ici de graver sur moins d'un cm^2 une unité de traitement complète constituée de colonnes de chromatographie, cuves de réactifs chimiques, laser,… miniaturisés. Les applications envisagées sont médicales (appareil portable d'analyse hématologique ou d'ADN), environnementales ou militaires (détection des gaz). Sur des applications recherche, ces micro-usines pourraient servir de laboratoire d'analyse des molécules obtenues en chimie combinatoire ou pourraient être utilisées en substitution pour la synthèse. Une dizaine de start-up ont vu le jour aux Etats-Unis récemment dans ce domaine.

Enfin la supraconductivité reste un enjeu dans le domaine des matériaux. Les premières applications dans le transport de l'électricité sont apparues récemment. De formidables avancées ont été effectuées avec le franchissement du seuil psychologique de l'azote liquide et l'atteinte des –140°C. La supraconductivité à température ambiante reste toutefois un objectif majeur pour la diffusion de ces matériaux dans l'informatique ; l'absence de résistance électrique permettrait alors d'atteindre des vitesses de traitement de l'information dix mille fois supérieures à celles d'un super calculateur Cray. Les recherches doivent porter ici sur la compréhension du phénomène supraconducteur à haute température, encore mal connu et mal caractérisé.

Les enjeux technologiques

Les enjeux technologiques se situent à la fois au niveau des procédés d'élaboration et de mise en œuvre des matériaux, au niveau de la recherche de nouvelles propriétés et de l'amélioration de la productivité de la recherche.

Industrialiser, maîtriser et imaginer les procédés d'élaboration des matériaux

Il s'agit :

de maîtriser l'élaboration des matériaux par le développement de la surveillance intelligente des procédés, [Surveillance intelligente de l'élaboration et de la mise en œuvre des matériaux]

de mettre au point des procédés d'élaboration pour les composites à matrice organique, les alliages de polymères, [Elaboration de composites à matrice organique, Alliages de polymères]

d'industrialiser les procédés de synthèse industrielle pour les matériaux émergents, [Nanocomposite et renforts nanométriques]

d'imaginer des nouvelles voies de synthèses par exemple biotechnologiques [Catalyseurs, Procédés biotechnologiques et biomimétiques de synthèse de minéraux et polymères]

Améliorer la mise en œuvre des matériaux

Il s'agit de développer les technologies de caractérisation et de suivi de la corrosion et de l'endommagement des matériaux. L'industrie des transports, du bâtiment ou encore celle du nucléaire cherchent à réduire leurs coûts de maintenance en améliorant la sécurité. Après la formidable avancée sur la maintenance préventive, les industriels aspirent à une maintenance prédictive qui consisterait à mesurer le taux d'usure et à ne déclencher des interventions que lorsque les côtes d'alerte seraient atteintes. Cette maintenance prédictive est aujourd'hui

accessible ; des outils d'instrumentation et de calcul suffisamment puissants étant disponibles [Evaluation non destructive de l'endommagement des matériaux et des assemblages].

Le développement de l'ingénierie des surfaces revêt de nombreux aspects : caractérisation des propriétés et fonctionnalisation des surfaces, revêtements de surface multifonctions mais aussi les technologies propres en traitement et revêtement des matériaux. [Ingénierie des surfaces]

L'utilisation des technologies de prototypage rapide devrait permettre de fabriquer directement à partir de modèles numériques des pièces métalliques en petites séries. [Fabrication à partir de modèles numériques de pièces métalliques industrielles en petites séries]

Les procédés de mise en œuvre de la matière molle peuvent être améliorés [Procédés de mise en œuvre et de formulation de la matière molle]

Développer de nouvelles propriétés pour faire face aux nouveaux usages

Les matériaux dits adaptatifs, actifs, intelligents ou encore « smart » sont susceptibles d'adopter des fonctions de capteurs ou d'actionneurs puisqu'ils ont la capacité de répondre à une sollicitation extérieure (mécanique, électrique ou thermique) en modifiant spontanément leurs propriétés. La recherche en la matière exploite des propriétés piézo-électriques (production d'électricité induite par une pression extérieure) comme dans le cas de certaines céramiques ou les propriétés magnéto / électro-rhéologiques (changement de viscosité dû à l'action d'un champ magnétique ou électrique) observables dans certains fluides. Les alliages à mémoire de forme, les gels polymères et certains matériaux composites sensibles (fibres de verre dans un polymère) font également partie de ces matériaux adaptatifs. [Matériaux pour systèmes avancés, Fibres textiles fonctionnelles]

Leurs avantages sont :

- « d'autonomiser » certaines fonctions (micro-actionneurs dans l'électronique sur les systèmes de marquage),
- de diminuer les nuisances sonores, par exemple des hélicoptères (mise au point des gouvernes actives intégrées aux pales et orientées par des actionneurs piézo-électriques plus légers que les systèmes hydrauliques),
- de faire de la surveillance et de l'intervention en temps réel (cas du ressort en alliage à mémoire de forme destinés à se détendre pour actionner une vanne d'eau froide quand une arrivée d'eau chaude est constatée).

Développer de nouvelles propriétés comme dans le cas des matériaux absorbants pour tenue aux chocs, vibrations, bruits, températures du fait de leur structure interne. Des développements concernent également des matériaux pour procédés à haute température et en milieux extrêmes. Il s'agit ici de mettre au point des matériaux susceptibles de conserver leur ténacité et d'être inertes chimiquement à haute température. Ces évolutions nécessitent en particulier de découvrir des matériaux dont les points de fusion sont supérieurs à 1500 °C pour être compatibles avec des applications comme le fuselage des navettes spatiales, les réfractaires des fours en sidérurgie, cimenterie ou verrerie. Les recherches portent sur différentes familles de métaux et de céramiques : métaux réfractaires, aciers réfractaires, superalliages base nickel ou cobalt, céramiques (carbures, nitrures, borure et oxydes, silicium et sulfures), composés intermétalliques (TiAl), composés à matrice métallique [Matériaux absorbants, Matériaux pour procédés à hautes températures et en milieux extrêmes].

Outiller la recherche et la modélisation

Réaliser simultanément des multi-synthèses mono-moléculaires et le test de l'activité par le transfert de la technique de chimie combinatoire que l'industrie pharmaceutique a développée pour élaborer rapidement et à moindre coût des bibliothèques de molécules. Sur un format maintenant classique de plaque de 96 puits, le chimiste dépose de manière ordonnée différents réactifs en faisant en sorte que chaque formulation à l'intérieur d'un puits diffère de la précédente sur une seule de ses dimensions. Il obtient alors 96 variantes de molécule dont il testera la différence de réactivité afin de retenir la plus active. Cette nouvelle approche de la recherche offre de grandes perspectives pour la mise au point de nouveaux pigments colorés, catalyseurs, polymères ou encore de nouveaux composés luminescents. L'autre voie d'amélioration de la productivité de la recherche est la modélisation moléculaire en vue de la prédiction des propriétés physico-chimiques des polymères [Techniques de synthèse et de test haut débit, Modélisation moléculaire en vue de la prédiction des propriétés physico-chimiques].

Capitaliser, modéliser et transférer les connaissances sur les matériaux par la mise au point de logiciels de modélisation complète des matériaux, de leur procédés de mise en œuvre et de leurs comportements en service par simulation numérique en utilisant les bases de données des propriétés des matériaux (couplage des codes micro et macroscopiques) [Modélisation complète de la transformation des matériaux et intégration dans des bases de données].

II.3 - Construction – Infrastructure

Résumé

La productivité technique du chantier n'a pas, dans les années 90, connu de saut significatif, même si elle s'est améliorée progressivement. Le secteur de la construction dans son ensemble devra entrer de plain-pied dans l'ère du travail coopératif et de l'intégration client-fournisseur, ouvrant ainsi la voie à des gains de productivité significatifs. Cette évolution rejoint l'apparition d'une demande nouvelle. Le vieillissement de la population, l'interpénétration de la sphère du domicile et de la sphère du travail modifieront les rapports à l'espace. La demande de personnalisation, que l'on retrouve dans le secteur des biens de consommation, se traduira par une intervention croissante du client dans le processus constructif. Les enjeux technologiques porteront donc à la fois sur une meilleure gestion de l'activité même au sein de la filière afin d'optimiser le coût global du bâtiment, et sur une amélioration des caractéristiques d'usage des bâtiments (génération et gestion de l'énergie, intégration et évolutivité de réseaux offrant des fonctionnalités précises, qualité et gestion des ambiances, conception et mise en œuvre de matériaux répondant à ces contraintes de coût et d'usage).

Introduction

Le domaine de la construction et de l'infrastructure est vaste puisqu'il comprend non seulement le bâtiment (logements, lieux de travail, installations industrielles, équipements publics) et les travaux publics (infrastructures de transport, réseaux de fluides, grands ouvrages de génie civil) mais aussi l'urbanisme et l'architecture.
Il représente un poids économique très important. Le bâtiment représente ainsi plus de 450 milliards de francs de chiffre d'affaires (HT) en 1996 dont 250 milliards de francs pour le logement (40 % dans le neuf et 60 % pour la rénovation et l'entretien). En 1999, les dépenses liées au logement pesaient pour 30 % sur le budget des ménages français.
De plus, ces secteurs d'activité sont tous caractérisés par la multiplicité des intervenants qui participent au processus de production des ouvrages (maîtres d'ouvrages, maîtres d'œuvre, entreprises de travaux, fabricants de produits de construction,…). Cette multiplicité accroît le nombre d'interfaces entres les acteurs influençant fortement les processus d'émergence et de diffusion des innovations techniques mais surtout organisationnelles dans la filière. En particulier, ainsi que l'exercice précédent l'avait déjà signalé :

- La présence dominante de PME (sur 284 000 entreprises de travaux, plus de 240 000 ont moins de 10 salariés !) et de professions libérales (architectes, ingénieurs conseils) à l'aval de la filière limite les capacités d'intégration de certaines innovations technologiques mais également des systèmes d'information ;
- Ces multiples interfaces offre/demande entre les fabricants de matériaux et les utilisateurs finaux réduisent d'autant les chances de pénétration des innovations orientées vers une meilleure satisfaction de la demande ;
- Enfin, la permanence des ouvrages rend très élevé le coût des conséquences néfastes d'une innovation mal maîtrisée, ralentissant d'autant le processus de sa diffusion.

De très nombreux efforts ont cependant été réalisés, depuis des années, pour améliorer la satisfaction et la qualité de vie des utilisateurs des bâtiments et des ouvrages produits. Force est cependant de constater que les attentes sociales ont évolué encore plus vite. Des exigences de plus en plus fortes vis-à-vis de la santé, de l'environnement, des risques, du confort, mais aussi de la modularité d'utilisation apparaissent comme autant de facteurs d'évolution qui doivent être anticipés.

Les déterminants de la demande

Il convient de distinguer d'une part la demande finale, celle de l'usager, fortement déterminée par l'évolution des modes de consommation et des modes de vie dans les années 2000 et d'autre part, la demande des acteurs des filières construction et habitat.

Les tendances de la consommation des années 2000

Les grandes tendances identifiées au chapitre I.2 peuvent être déclinées pour ce qui relève du domaine Construction – Infrastructure.

L'évolution démographique entraîne l'apparition d'une demande nouvelle

Le vieillissement de la population couplé avec l'allongement de la durée de la vie a peu à peu augmenté le poids des seniors dans la société. En 1998, ceux-ci constituent 20,4 % de la population totale[20.] En 2020, les plus de 60 ans pèseront pour plus d'un quart dans la population totale (26,8 %)[21.] De plus, alors qu'aujourd'hui, les plus de 75 ans ne représentent qu'à peine un quart des plus de soixante ans, ils constitueront près de la moitié de cette population à l'horizon 2050. La population vieillit, et avec elle, la population âgée vieillit également...
Auparavant, les espaces urbains et architecturaux étaient dessinés pour les personnes en pleine possession de leurs moyens, puis modifiés pour intégrer les besoins des personnes à mobilité réduite. L'évolution démographique entraînera un changement de la structure spatiale de pans entiers de la société. Ainsi devrait-on voir se développer des unités de semi-prise en charge, studio ou deux pièces pour la personne âgée, seule ou en couple, dans un ensemble proposant différents services. L'utilisation de systèmes d'informations, de guidage, de déplacement, dans la cité comme dans l'habitat, dotés d'interfaces accessibles aux seniors devrait se propager.

L'interpénétration de la sphère du domicile et de la sphère du travail

Les nouveaux modes de vie combinant vie professionnelle et vie personnelle modifient les rapports avec les espaces tant professionnels que personnels. On travaille de plus en plus au bureau et à la maison, au point que certains nouveaux objets de consommation - le téléphone portable, le micro-ordinateur, voire la voiture - appartiennent en fait aux deux sphères indistinctement. Cette « confusion » des rôles mène à une demande d'échanges accrue entre les personnes et illustre le besoin de reliance des consommateurs face à leur autonomisation dans la sphère du travail et de la consommation. L'agencement des pièces dans la maison doit ainsi répondre à ces nouveaux besoins. Un espace bureau suffisamment grand pour accueillir le micro-ordinateur, une connexion Internet, l'imprimante, une cuisine adaptée à la déstructuration des repas, qui propose à la fois la possibilité d'une grande réunion familiale et le réchauffement rapide de plats individuels,…. Un espace loisirs avec home-cinéma, télé et chaîne hi-fi,… Une maison « reliée », pensée en fonction des connexions internes et externes.

Des logements personnalisés

Une des tendances lourdes identifiées au chapitre I.2 pour les années 2000 est le passage de l'individu à la personne. Ceci correspond à un changement clé dans le mode d'appréhension des consommateurs. Alors que l'individu se définit par rapport à l'autre, ce qui se traduit par une offre cherchant à le séduire et à le flatter en le différenciant, la personne se définit par rapport à elle-même, l'offre essayant de tenir

[20] INSEE, La société française, données sociales. 1999
[21] INSEE, in G. Mermet, Francoscopie, 1999

compte de son histoire personnelle. La personnalisation de la consommation relègue l'anonymat et donne un rôle actif au consommateur : celui de pouvoir élaborer sa consommation.
Dans la construction et l'habitat, cette tendance devrait se traduire par une intervention croissante des consommateurs dans l'aménagement du logement (pose de cloisons, caractéristiques de l'enveloppe,…) surtout dans le neuf. Les maisons clés en main ont moins le vent en poupe et la personnalisation va se développer.

Elle devrait se traduire par :

Un besoin de sécurité intégré dans le logement en fonction des caractéristiques propres du consommateur ; par exemple, les programmes de taille réduite (une trentaine de logement au maximum) avec des systèmes de télésurveillance, devraient être privilégiés. Ce besoin pourrait s'articuler avec un élargissement progressif du système de sécurité à différentes autres fonctions intégrées, favorisant ainsi une approche progressive et personnalisée de ce que l'on a pu appeler la domotique ou l'immotique pour les immeubles.

La participation des clients à la finition des plans qui rendra nécessaire le développement d'outils de simulation permettant à l'architecte de gérer à la fois les contraintes techniques et les demandes du consommateur. Elle nécessitera également une diminution des coûts de mise en œuvre qui proviendra en particulier de la fabrication d'éléments en kit et de la professionnalisation des installateurs.

La mise en avant de l'imaginaire plutôt que du fonctionnel : une nouvelle distribution de l'espace (suites parentales, espaces enfants, espace professionnel,…) à la finition personnalisée, les aménagements doivent satisfaire à cette demande de confort et de protection contre les agressions de l'environnement, en particulier le bruit qui représente la première nuisance, sans pour autant couper le logement du reste du monde... (Le travail sur l'acoustique peut se heurter à l'envie d'ouvrir une fenêtre). Il sera nécessaire de rechercher des solutions globales de confort, qui satisfassent les différentes aspirations du client même quand elles sont contradictoires. Les développements sont nombreux : doubles vitrages dits peu émissifs où le dépôt d'une couche d'oxyde métallique s'oppose aux pertes de rayonnement, travail sur les couples thermique - lumière, thermique - olfactif. De manière générale, l'objectif est d'associer les différents éléments de confort (bruit, chauffage, luminosité, odeurs,…) sans les opposer.

Dans le même temps, ces développements devraient favoriser une conception plus spécifique de l'habitat pour les personnes âgées ou à mobilité réduite. La convergence de ces trois axes (besoins de sécurité, participation des clients à la finition et possibilité de moduler l'espace intérieur) contribuera à développer une adaptation du design et de l'ergonomie de l'habitat.

L'impact de l'augmentation du temps libre

Au-delà du besoin nouveau de faire du domicile le lieu de tous les univers de vie (privé, professionnel, loisirs,…), l'augmentation du temps libre (évolution régulière depuis cent ans dans tous les pays développés et qui va encore connaître une nouvelle accélération en France avec la loi sur les 35 heures) joue sur la construction.
Après une stagnation de la construction de résidences secondaires de 1991 jusqu'en 1997 (années de crise économique et d'inquiétude forte), une demande croissante pour des logements de vacance, aménagés spécialement pour les loisirs, devrait se développer. Mais ces nouveaux lieux ne pourront pas rester à l'écart du besoin de communication et pourraient n'être que le prolongement, en d'autres lieux, des univers multiples du logement principal.

La personnalisation dans le regroupement

La dynamique économique de la mondialisation conduit les entreprises à se regrouper et à mettre en commun leurs personnels. Dans le même temps, les méthodes de travail évoluent, avec l'extension des approches par projet, nécessitant des plate-formes projets de plus en plus intégrées tant physiquement que virtuellement, des salles de visio-conférence permettant le travail coopératif à travers le monde,

des méthodes d'archivage repensées,… Enfin, l'interpénétration vie professionnelle - vie personnelle appelle la mise à disposition de services qui vont bien au-delà du restaurant d'entreprise. De nouveaux espaces de bureaux sont donc nécessaires, excentrés des villes (pour la place) et conçus comme de véritables villes avec une architecture « urbanisée », qui permettent à chacun de travailler au mieux, autonome, avec tous les outils nécessaires à portée de main, tout en restant à proximité des décideurs (exemples du siège de Nestlé France à Marne la Vallée, du Technocentre Renault à Guyancourt,…).
Le bâtiment devra également être pourvu des pré-cablages utiles pour un équipement futur, avec une accessibilité permettant l'évolution des standards sans intervention excessive sur les parois. Au-delà, la transmission hertzienne devra au maximum permettre la suppression de ces mêmes câblages, favorisant la mobilité des cloisons et la modularité des espaces.

Des préoccupations de plus en plus environnementales pour la construction industrielle, l'habitat et l'urbanisme

En ce qui concerne la construction industrielle, les besoins sont également en phase avec les tendances de la consommation. Le besoin de « **rassurance** » se traduit par une intégration forte de la sécurisation dans la construction (sécurité du personnel, mais aussi protection des secrets industriels, sécurisation des processus de production avec l'extension des secteurs demandeurs de salles blanches, en particulier dans l'agro-alimentaire). La **performance** industrielle se joue de plus en plus dès la conception de lieux mieux adaptés à la gestion des flux (matières premières, personnels, produits finis,…) et aux contraintes d'exploitation et de maintenance. Dans le même temps, les propriétaires de tels bâtiments doivent pouvoir accueillir des occupants aux besoins spécifiques : ils ont donc une demande forte de modularité et d'adaptabilité des bâtiments. La personnalisation atteint également le hangar industriel et l'usine, porteurs de l'image de l'entreprise auprès du personnel et de l'extérieur. Là encore, les contraintes du coût global du bâtiment (investissement, exploitation, maintenance) doivent rencontrer le besoin d'individualisation. Enfin, les industriels se soucient fortement des contraintes environnementales : choix et gestion de l'énergie, traitement des rejets, cycle de vie des matériaux de construction utilisés mais aussi coûts globaux d'exploitation et de maintenance deviennent des éléments de décision essentiels.
Pour l'habitat et l'urbanisme, les préoccupations relatives à l'effet de serre s'intensifient progressivement. La reprise de la croissance et donc la tension sur les combustibles fossiles, mais également la pression démographique globale y contribuent largement. Des programmes importants de R&D, par exemple aux Etats-Unis, soutiennent les efforts de compréhension des mécanismes et de lutte contre l'effet de serre. Ces préoccupations peuvent amener à faire évoluer le degré de concentration de l'habitat urbain et son articulation avec les modes de transport. L'explosion du télétravail aux Etats-Unis (où il atteint 14 % de la population) va dans le même sens et pourrait aussi conduire en Europe à des modifications des caractéristiques mêmes de l'habitat.

La demande des professionnels de la construction

Le besoin d'intégration

Le précédent rapport faisait le constat que le BTP avait, au cours des années 80, privilégié la pression sur les sous-traitants et la diminution des coûts en amont de la filière chez les fournisseurs de matériaux afin de favoriser une maîtrise des coûts. Il en appelait à une priorité donnée à la productivité de chantier. Pourtant, la productivité technique du chantier lui-même n'a pas, dans les années 90, connu de saut significatif, même si elle s'est améliorée progressivement. Les conditions traditionnelles de chantier recèlent toujours des gisements de productivité considérables liés à l'amélioration de la sécurité et des conditions de travail d'une part, à une meilleure organisation des acteurs intervenant tout au long du projet de construction d'autre part.

Les filières industrielles de la construction et de l'habitat ne pourront pas rester à l'écart de la « nouvelle économie » et de l'intégration client - fournisseur qui se développe partout :

Architectes et ingénieurs-conseils devront utiliser toutes les ressources de la réalité virtuelle afin de donner à voir à leurs clients comme aux maîtres d'œuvre leur vision du bâtiment à construire *[Réalité virtuelle augmentée pour la conception architecturale et technique]* ; ils s'appuieront sur les systèmes de communication et les agents intelligents afin d'accéder aux informations en ligne des industriels qui leur offriront des produits modulables favorisant la personnalisation de leur offre *[Agents intelligents]* ;
Maîtres d'œuvres et installateurs utiliseront toutes les ressources du commerce électronique pour gérer leurs approvisionnements en flux tendus ; surtout ils seront reliés aux autres partenaires de leur consortium, au chantier lui-même et aux contremaîtres qui le supervisent, à travers des systèmes de travail coopératif et à travers des technologies de conduite intégrée des engins ;
Enfin, le « facility management » prendra un nouvel essor avec la mise en place d'une carte mémoire du bâtiment et la mise en œuvre systématique des technologies de diagnostic du vieillissement des structures et des matériaux. Cette notion rejoint celle du Soutien logistique Intégré abordée dans le chapitre Technologies et méthodes de conception, production, gestion *[Techniques de diagnostic des structures] [Soutien Logistique Intégré]*.

Ces évolutions ouvrent la voie à des gains de productivité potentiellement significatifs.

L'activation de la fonction enveloppe

Le dépouillement des formes, promu par l'architecture contemporaine, a suscité de nombreuses innovations dont la principale a consisté à dissocier la fonction porteuse de la fonction enveloppe[22]. L'enveloppe, qui joue le rôle de peau du bâtiment, intègre les fonctions d'éclairage, de thermique, d'acoustique et de ventilation, outre l'esthétique extérieure du bâtiment. Les contraintes environnementales évoquées ci-dessus rendent progressivement indispensables l'activation de l'enveloppe qui verra son rôle renforcé : automatismes, vitrages commandables, parois à transparence ou à perméabilité progressive, systèmes actifs de protection acoustique ou de traitement des ondes électro-magnétiques, façades auto-nettoyantes sont autant d'exemples de la recherche d'une enveloppe active *[Systèmes performants pour enveloppe de bâtiment]*.

L'optimisation du coût global du bâtiment

A l'ère du consommateur entrepreneur, professionnel de l'achat et du rapport qualité-prix, doit correspondre une capacité à proposer des bâtiments dont on peut maîtriser le coût global. Celui-ci inclut l'investissement initial, l'exploitation (rendement énergétique, éclairage,…), la maintenance, et éventuellement, pour certains, le recyclage.
Ce besoin se traduit par le développement d'outils d'évaluation du coût global d'un projet, mais également par la conception, dès l'origine des modalités de maintenance (gestion du bâtiment à distance ou a contrario, équipements à faible contenu technologique mais très faciles à entretenir).
A l'extrême, le bâtiment pourrait devenir autonome et produire lui-même l'énergie dont il a besoin (grâce à la miniaturisation des piles à combustibles), traiter ses effluents, surveiller ses besoins de maintenance grâce à des capteurs et des techniques « de type scanner »[23]. *[Pile à combustible] [Capteurs intelligents]*

La poursuite de la prise en compte des enjeux de sécurité

Le mouvement d'ensemble des réglementations de sécurité, tant dans le domaine du risque incendie que dans celui de la prévention de l'impact des catastrophes naturelles (tremblements de terres, tempêtes,…) favorisera le développement d'outils nouveaux d'ingénierie et de simulation. Ces outils

[22] A. Maugard, CSTB, 1998
[23] Ainsi, le Stade de France est-il doté d'un système d'auscultation par cordes optiques qui permet d'enregistrer les contraintes subies par la structure et de télésurveiller l'ouvrage à partir d'une visualisation en temps réel des mouvements des têtes des poteaux.

seront utilisés dans la phase de conception, mais ils jouent déjà et joueront de plus en plus un rôle de preuve de satisfaction des exigences réglementaires. Ces efforts en matière de simulation concernent également le domaine des matériaux (structure, enveloppe et aménagement). Ils complètent l'amélioration continue de leurs caractéristiques de tenue au feu ou aux catastrophes naturelles.

Les enjeux technologiques

Génération et gestion d'énergie dans le bâtiment

La génération d'énergie dans les bâtiments répond à un double objectif. Il s'agit d'une part de favoriser le développement de sources d'énergie moins polluantes, plus « soutenables », et d'autre part de rendre les bâtiments autonomes. Les techniques économisant l'énergie ou favorisant le stockage d'une énergie produite à moindre coût devraient continuer à représenter des enjeux importants dans les pays développés.
Parmi celles-ci, les principales devraient être :

- la pile à combustible stationnaire, *[Pile à combustible]*
- les composants Photovoltaïques intégrés en façades et toitures qui connaissent encore des problèmes de ratio coût / rendement,
- la micro-cogénération,
- les pompes à chaleur performantes en climat froid (encore trop instables aujourd'hui).

Au-delà, la gestion de l'énergie dans les bâtiments repose sur des recherches concernant :

- l'optimisation du système d'éclairage (adaptation de l'éclairage à l'usage, système de contrôle pour éclairage ou extinction automatique, procédures de maintenance). Un gain sur l'énergie consommé de 10 % semble par ce biais facilement accessible,
- l'utilisation des nouvelles sources d'énergie mentionnées ci-dessus,
- mais aussi l'amélioration du rendement énergétique des systèmes de ventilation, de chauffage et de climatisation des bâtiments.

Les sols

Les problèmes de métrologie et de géotechnique ont changé de nature. Il s'agit d'une part de favoriser le développement de diagnostic simple et peu coûteux afin de généraliser l'analyse préalable des sols dans la construction individuelle, d'autre part d'adapter les techniques développées ces cinquante dernières années pour les grands ouvrages à la protection, au traitement préventif ou à la réhabilitation des sols pollués, ainsi qu'au comportement des sols non saturés et aux problèmes d'environnement liés aux risques naturels et technologiques.
Les techniques visant à prévoir et à contrôler les mouvements du sol induits par les excavations retiennent prioritairement l'attention des opérateurs. Elles peuvent permettre de limiter considérablement les coûts de terrassements, de renforcements palliatifs qui, tout en ralentissant le chantier, peuvent avoir un impact particulièrement défavorable sur son économie.
Les technologies en jeu sont :

- les technologies de confortement des sols,
- décontamination et réhabilitation des sols pollués,
- technique des travaux souterrains, dont les coûts d'exécution sont encore importants et dont l'impact sur le bâti reste encore insuffisamment maîtrisé, *[Technologies de travaux souterrains]*
- méthode simple d'analyse et de diagnostic des sols

Réseaux

Dans le domaine des réseaux, la filière construction est confrontée à des enjeux essentiels dont on ne sait pas encore comment ils seront résolus : la « bonne » direction technologique est encore incertaine à l'heure actuelle. Les futures technologies pourraient de fait déboucher sur des composants qui impliqueraient une conception totalement différente des installations électriques. Le hertzien / sans fil fait partie des voies de développement potentielles, avec des enjeux de sécurité très importants et non complètement résolus. La fibre optique, qui garantit plus de sécurité et de confidentialité, est également une piste de recherche non négligeable.
Par ailleurs, la domotique illustre un autre aspect des difficultés auxquelles les technologies dans le domaine construction-infrastructure se heurtent : dans les années 80, on pensait que l'équipement des habitats se développerait par la technologie (alarme, chauffage, éclairage en réseau,…). Il s'est avéré que :

les technologies n'étaient pas complètement au point,
les clients n'étaient pas prêts à fusionner l'ensemble des « services » qu'ils obtiennent de leur habitat dans un système qu'ils ne maîtrisaient pas,
enfin, les personnes susceptibles de mettre en œuvre ces technologies n'étaient pas du tout formées.

La domotique se développe donc aujourd'hui lentement. Les applications de ces technologies sont en train d'être précisées, avec une séparation des fonctionnalités offertes, pour mieux répondre à la demande client. Il n'est pas exclu que les réseaux prennent de l'ampleur, dans la mesure où une rupture des types de demandes est prévisible (jeunes générations « nées avec un ordinateur dans les mains », et peut-être plus à même d'accepter ces technologies) :

Simulation – Compatibilité ElectroMagnétique : enjeu majeur (thème transversal à plusieurs groupes de travail)
Electronique de puissance pour contrôle des réseaux électriques
Protocoles d'échanges pour réseaux courant faible
Fibre optique et connectique associée
Intégration et évolutivité des réseaux
Technologies de communication hertzienne à courte distance, protocoles de communication

Conception et mise en œuvre des matériaux

On peut considérer aujourd'hui qu'il y a d'un côté les matériaux réellement utilisés sur le terrain (BHP,...) et de l'autre côté les matériaux en cours de développement par les chimistes sur la base de molécules dont certaines seront intégrées demain à l'offre produit. Pour ce qui relève plus particulièrement du domaine Construction Infrastructure, un enjeu fort est associé aux matériaux « prêts à l'emploi » et à leurs conditions d'utilisation.

Les principales voies explorées sont :

Nouveaux bétons incorporant des additifs nouveaux et mieux maîtrisés, des avancées en science des matériaux permettant une meilleure connaissance de ses performances tant mécaniques que physiques (qualité, vieillissement,…) *[Béton à performances optimisées]*.
Matériaux composites non structurels dont les enjeux sont l'aspect, l'esthétique, le fini de surface ; leur rendu architectural est important.
Revêtements routiers, en particulier favorisant une meilleure absorption acoustique et un meilleur rendement énergétique. (liants hydrauliques, colles,…) *[Matériaux composites pour les routes]*
Matériaux composites structurels (composites fibre et résine)
Mise en œuvre de systèmes de matériaux performants pour enveloppe de bâtiment *[Systèmes performants pour enveloppe de bâtiment]* :

- isolation interne/externe (façades intelligentes) : thermique (ponts thermiques), acoustique, à l'air (l'étanchéité à l'air est très bien maîtrisée dans le nord de l'Europe notamment, mais l'est moins en France)
- protection contre les intempéries
- pathologie (nettoyage des façades, régénération par des bactéries)

Macro associations de matériaux (combinaison de matériaux)
Composites à base de fibres de ligno-cellulose

Qualité et gestion des ambiances[24]

Plus que jamais considéré comme un abri contre les agressions extérieures, l'habitat doit garantir des ambiances saines pour ses occupants. La métrologie de l'environnement interne va se développer grâce aux bio-capteurs*[Biopuces et biocapteurs]*. Le suivi de la qualité de l'air, mais également du niveau sonore, ou encore de la qualité de l'eau distribuée se banalisera progressivement *[Gestion de l'air dans les bâtiments]*. Les systèmes de ventilation, de filtration devront à la fois préserver la santé face aux émissions internes et externes, mais également assurer le confort et la préservation du bâti et en outre contribuer à la maîtrise de l'énergie.
« Les systèmes devront répondre à une demande de réversibilité (froid/chaud), de décroissance du niveau sonore, d'autonomie, d'amélioration de l'esthétique et de leur dimensionnement » *[Réduction des bruits]*.

Les technologies concernées sont :

La gestion des vibrations et l'acoustique par contrôle actif
Le contrôle actif permet de gagner des décibels sur des énergies émises, ou de diminuer activement le niveau des vibrations pour éviter la fatigue des bâtiments.
Les capteurs intelligents *[Capteurs intelligents]*

- capteurs de qualité de l'air
- capteurs de présence

La métrologie qualité de l'air et de l'eau – interface utilisateur final
Les technologies de gestion de l'air et de l'eau dans les bâtiments (filtration, captage des polluants,…)
Techniques de transmission de l'énergie telles que revêtements, peintures chauffantes,…

Gestion de l'activité

La nature même du travail au sein de la filière BTP et la forte division déjà signalée entre les entreprises chargées des études et de la réalisation mettant en relation de multiples partenaires, aboutissent à des gaspillages importants. La communication et la coordination prennent toute leur force pour garantir la qualité et la réactivité aujourd'hui requises sur les marchés. De même, la réflexion amont sur la conception conditionne la réussite de l'utilisation des matériaux. Mais cela suppose un lien fort entre les différents acteurs concernés, aussi bien lors de la phase initiale que sur le chantier lui-même, ainsi qu'une meilleure capacité à suivre précisément le déroulement de la mise en œuvre. Cela entraîne une remise en cause des métiers dont l'organisation actuelle est parfois un frein à l'utilisation des nouveaux matériaux.
Une fois le bâtiment terminé, la mémorisation des informations est un enjeu important pour l'acquéreur et les professionnels du bâtiment. Il s'agit de stocker les informations des interventions liées au bâtiment afin qu'elles puissent être disponibles 15 ans après pour de possibles interventions. On retrouve la même problématique concernant les ouvrages d'art.

Différentes technologies peuvent ainsi contribuer à une meilleure gestion de l'activité :

[24] D'après A. Maugard, CSTB

Ingénierie concourante : très stratégique pour la construction en lien avec les technologies de l'information et de la communication, la mise en œuvre des techniques d'ingénierie concourante pourrait contribuer à bouleverser l'organisation même du secteur *[Ingénierie concourante]*.
La carte mémoire du bâtiment : elle pourrait intégrer le mode d'emploi, le rythme de maintenance de la construction ; elle se heurte néanmoins à une difficulté : quelle forme donner à cette carte mémoire compte tenu de la durée de vie des bâtiments ?
Positionnement et conduite intégrée des engins de chantier

- « Local positioning system », GPS
- intégration de l'engin de chantier au système d'information permettant un suivi détaillé de la mise en œuvre depuis le bureau d'étude

Logistique des matériaux : liens informatisés avec les fournisseurs, développement des étiquettes électroniques à des fins de mise en œuvre et de gestion
Analyse et diagnostic du vieillissement des structures et des matériaux
Méthodes et processus de maintenance
Modélisation en milieu complexe

II.4 – Energie - Environnement

Résumé

L'énergie est un élément essentiel au développement économique de la France. Aujourd'hui, la disponibilité et la maîtrise de l'énergie sont des enjeux qui restent majeurs, associés à la maîtrise de son coût. Ces problématiques, comme nous le verrons, influent nettement sur les développements technologiques à horizon 5 ans.
Les liens entre Environnement et Energie sont par ailleurs de plus en plus forts. Une des grandes problématiques énergétique et environnementale actuelles concerne l'effet de serre, qui conduit à la fois à reconsidérer l'attractivité relative des différentes sources énergétiques et à stimuler les progrès en matière de maîtrise de la consommation énergétique dans les transports.
Au-delà, les enjeux en matière d'environnement portent sur la gestion des déchets, la dépollution de l'eau, des sols et de l'air ou encore sur la réduction des nuisances sonores. In fine tous les secteurs industriels sont aujourd'hui concernés par la problématique environnementale, du double point de vue de l'évaluation et de la réduction des risques.

Energie

Introduction

Aujourd'hui, la disponibilité et la maîtrise de l'énergie sont des enjeux majeurs pour assurer la position économique d'un pays. La problématique énergétique se décline selon deux axes : la maîtrise des énergies principales (électricité nucléaire et hydraulique, gaz, pétrole) et l'anticipation de ruptures énergétiques éventuelles via le développement de nouvelles sources d'énergie. Dans ce contexte, les évolutions technologiques sont plutôt à appréhender sur le moyen long terme.
Au-delà, les conséquences de l'utilisation d'une source d'énergie sur l'environnement et la santé sont des problèmes qui préoccupent de plus en plus les citoyens.

Contexte et problématique générale

Depuis la révolution industrielle, l'humanité a utilisé une grande quantité des énergies fossiles disponibles pour assurer son développement économique. Rappelons que l'homme a déjà extrait 120 milliards de tonnes de pétrole du sous-sol. Il a fallu environ 300 millions d'années pour que la nature synthétise ce pétrole et nous le consommons à une vitesse deux millions de fois supérieure.
Si l'on se place à long terme, plus d'une centaine d'années, le problème des réserves peut donc se poser : les réserves des énergies fossiles, définies comme le rapport entre les réserves exploitables avec les techniques actuelles et leur consommation, étaient évaluées, en 1995, à 43 ans pour le pétrole conventionnel, à 66 ans pour le gaz et à 243 ans pour le charbon. Même s'il existe des incertitudes sur ces évaluations, on s'attend à une diminution sensible des réserves de pétrole et de gaz d'ici une centaine d'années. Ceci devrait entraîner une hausse des prix de ces matières premières puisqu'elles seront plus rares et que leur extraction sera sans doute plus coûteuse pour les réserves ultimes non comptabilisées ici.

Pour l'énergie nucléaire issue de la fission des noyaux, ces réserves (si l'on garde la technologie actuelle des réacteurs nucléaires qui sont basés sur la fission des noyaux induite par des neutrons lents) se chiffrent également en quelques centaines d'années. En effet, la technologie des réacteurs à

neutrons lents n'utilise que 0,5 % à 1 % de l'énergie contenue dans le combustible, de l'uranium faiblement enrichi. En revanche, la technologie des réacteurs à neutrons rapides permet d'extraire 60 % de cette énergie et porterait les réserves à plusieurs milliers d'années.

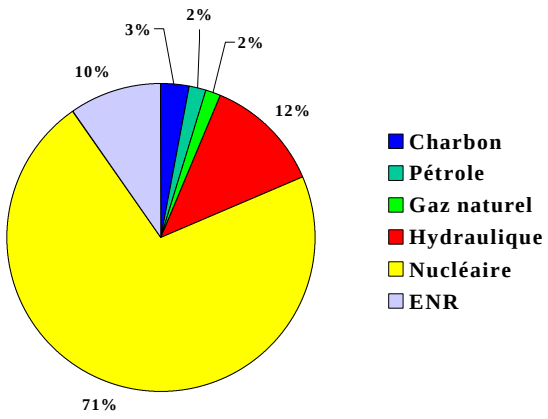
Les énergies renouvelables (hydraulique, solaire, éolien, géothermie,…) ont l'avantage d'être disponibles tant que durera la terre. Si ces énergies sont en principe gratuites, leur récupération ne l'est pas. Seule celle issue de l'hydraulique est actuellement rentable à grande échelle ; elle est largement utilisée en France puisqu'elle contribue à près de 15 % à la production d'énergie électrique. Le coût des autres sources d'énergies renouvelables comme le solaire ou l'éolien, est encore pour le moment trop élevé pour qu'elles soient compétitives avec les combustibles fossiles ou le nucléaire. Si le kwh éolien n'est que 2 à 3 fois plus cher pour le moment que le kwh obtenu par le gaz ou le nucléaire, il reste encore à gagner presque un ordre de grandeur sur le kwh photovoltaïque.

Le coût de l'énergie étant un élément significatif de la compétitivité économique d'un pays, cette question dépasse en fait largement celle de la compétitivité des énergies renouvelables.
Cela signifie que, dans toutes les branches énergétiques, il faut mener des développements technologiques pour diminuer le prix de l'énergie.
Il est aussi important de souligner que le coût d'une énergie ne reflète pas toujours celui qui est supporté par la société. En effet, certaines externalités, comme les coûts pour la société (santé publique pour n'en citer qu'un) qui ne sont pas inclus dans le prix de l'énergie, sont encore loin d'être incluses dans leurs prix. Compte tenu de la préoccupation nouvelle des conséquences de l'utilisation d'une source d'énergie sur l'environnement et la santé, l'on peut s'attendre, dans un futur proche, à une internalisation des coûts liés à ces désagréments.

Les apports des années 70 : maîtriser l'énergie

Le nucléaire domine le marché français avec plus de 70 % de la production nationale estimée à 119,9 millions de tep en 1998. L'hydraulique et les énergies renouvelables constituent en France les deuxièmes sources d'énergie .

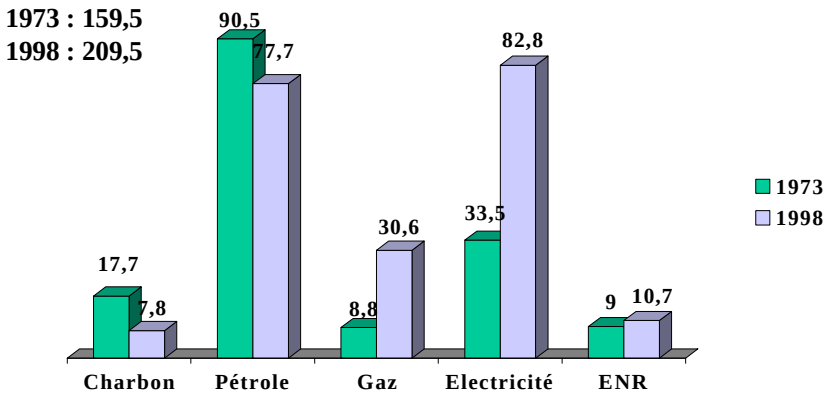
Production d'énergie en France en 1998
Total : 119,9 MTep



Source : Statistiques énergétiques France (DGEMP)

En ce qui concerne les consommations finales énergétiques le pétrole et l'électricité couvrent à eux seuls près de 80 % des besoins nationaux français.

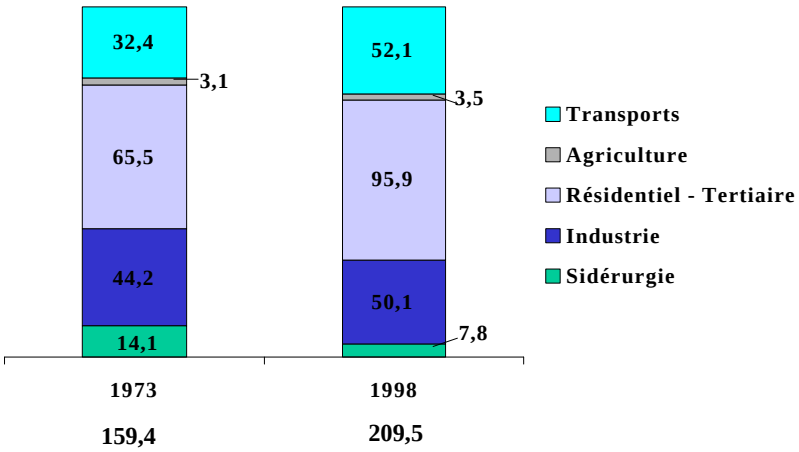
Consommation finale énergétique (millions de tep)



Source : Statistiques énergétiques France (DGEMP)

Au-delà de la production, la maîtrise des conditions d'utilisation de l'énergie est un autre enjeu majeur. L'énergie intervient dans la vie domestique et industrielle comme dans les transports.

Consommation finale énergétique (millions de tep)



Source : Statistiques énergétiques France (DGEMP)

La croissance de la consommation d'énergie a subi un ralentissement à partir des années 70 (depuis les chocs pétroliers). En 1998, le tertiaire et les particuliers pesaient près de 50 % de la consommation d'énergie totale nationale suivis par le secteur des transports (25 %) et l'industrie (25 %). Les consommations d'énergie dans les bâtiments représentent l'un des premiers postes du segment tertiaire/résidentiel (où près de 40 % de l'énergie provient de produits pétroliers). Dans l'industrie, la chimie est le premier secteur en terme de consommation d'énergie (un quart de l'énergie consommée).

En réaction aux crises énergétiques des années 70, la France a consenti un important effort depuis plus de 20 ans et la croissance industrielle française s'est accompagnée d'une maîtrise de la consommation d'énergie. Des études montrent toutefois que le gisement d'économie exploitable dans l'industrie reste important : de l'ordre de 20 % soit 10 Mtep pour une consommation annuelle de 55 Mtep.

1. Les apports des années 90 : la recherche d'un compromis entre performance énergétique et performance environnementale

Au-delà de la double maîtrise de la production et de la consommation d'énergie, la pression environnementale a depuis quelques années conduit à élargir la problématique énergétique. Les domaines de l'Environnement et de l'Energie sont aujourd'hui intimement liés.

Une des grandes problématiques environnementale et énergétique actuelle concerne l'augmentation de l'effet de serre qui peut avoir des conséquences importantes sur le climat de notre planète.
Cette préoccupation nouvelle a conduit à reconsidérer l'attractivité relative des différentes sources énergétiques. En effet, l'augmentation de l'effet de serre a en grande partie pour origine l'utilisation des combustibles fossiles puisque l'on brûle du carbone et donc on produit du gaz carbonique. En revanche, le nucléaire, tout comme les énergies renouvelables, ne produit pas de gaz à effet de serre si ce n'est de façon très marginale dans les transports liés à l'utilisation de ces énergies.
Il faut aussi noter que tous les combustibles fossiles ne sont pas égaux en matière d'émission de gaz carbonique. Ainsi le gaz naturel ne dégage, à quantité d'énergie libérée égale, qu'environ la moitié de ce que dégage le charbon.
Les engagements pris à Kyoto par les différents pays sur la limitation d'émission des gaz à effet de serre vont imposer des contraintes fortes sur le choix des sources d'énergie utilisables. La France, avec son programme électronucléaire qui produit près de 80 % de l'électricité, a de faibles émissions par rapport aux autres pays industrialisés. Maintenir ce taux d'émission ne sera cependant pas une tâche facile compte tenu de l'augmentation des transports, qui dépendent à 95 % des produits pétroliers.

Ainsi, la lutte contre l'effet de serre va tendre à favoriser le développement de technologies non émettrices de CO_2 (nucléaire, énergies renouvelables) et va stimuler les recherches pour la maîtrise de la consommation des produits pétroliers, particulièrement dans le domaine des transports, source du tiers des émissions de gaz carbonique.

Les principaux enjeux dans le domaine de l'Energie

Le principal objectif des développements technologiques à venir est de permettre de diminuer le prix de l'énergie, en assurant une meilleure sûreté et sécurité des installations et en préservant au mieux l'environnement.

Maîtriser les productions d'énergie si possible en accord avec la performance environnementale attendue

L'énergie nucléaire comme nous l'avons vu occupe une place importante dans la production énergétique française. Un premier objectif est d'augmenter la durée de vie des centrales en atteignant 40 ans au lieu des 30 ans prévus ce qui permettrait d'encore abaisser le prix du kwh. L'optimisation du combustible en augmentant le taux de combustion va aussi dans ce sens. Ces développements technologiques sont dans l'échelle de temps des années 2005.
La gestion rationnelle des déchets radioactifs, dont certains peuvent avoir des durées de vie très longue, est également une priorité pour les années à venir. La loi du 30 décembre 1991 a donné un cadre à ces études avec une échéance en 2006. Ceci nécessite le développement de nombreuses recherches technologiques qui ont la caractéristique d'être pluridisciplinaires.[*Conditionnement / entreposage et stockage des déchets nucléaires à vie radioactive longu*e]
A plus long terme, au-delà d'un premier renouvellement des centrales existantes, se pose la question d'une meilleure utilisation du combustible dans le cadre de réacteurs toujours plus sûrs. Comme nous l'avons signalé plus haut, les réacteurs rapides, qui permettent d'extraire plus d'énergie, sont des technologies à développer de façon continue et sans interruption brutale afin que les industriels français du nucléaire restent des acteurs majeurs au niveau mondial. Enfin, à

très long terme, et dans un cadre international, la fusion reste un objectif important pour la production de l'énergie.

On observe actuellement une forte pénétration du gaz au niveau mondial qui, via le cycle combiné, permet d'augmenter de manière significative les rendements. Le retour sur investissement rapide, le prix du gaz attractif et les contraintes environnementales pour le moment faibles rendent cette source d'énergie particulièrement intéressante à court terme. La seule inconnue reste l'évolution du prix du gaz qui intervient pour près de 70 % dans le prix du kwh. La France est bien placée dans la technologie des turbines à gaz et mérite de poursuivre son effort dans ce domaine.

Les combustibles fossiles restent indispensables pour les transports.
Trois axes de besoins se dégagent principalement :

- La réduction des risques et des coûts en exploration et en production pétrolière. En particulier la production pétrolière par grands fonds constitue un thème de travail important.
- La reformulation des carburants dans l'objectif de diminuer les émissions de polluants.
- La réduction de l'impact sur l'effet de serre [*Piégeage et stockage du CO2*]

Au-delà et dans une perspective à long terme, la pile à combustible est une alternative intéressante au moteur à explosion[25].

La prise de conscience des problèmes d'environnement local et surtout global favorise l'utilisation des énergies renouvelables qui présentent l'avantage, comme nous l'avons vu, de ne pas puiser sur un stock. Elles sont par ailleurs moins dangereuses pour l'environnement planétaire (effet de serre) et moins porteuses de risques politiques et technologiques que les combustibles fossiles ou nucléaires.
A l'exception de l'hydraulique, le problème majeur des ENR reste leur coût. Pour certaines d'entre-elles, comme le photovoltaïque solaire, cela passera par des ruptures technologiques car le prix est encore actuellement beaucoup trop élevé pour être compétitif, mis à part certaines applications spécifiques. Pour d'autres énergies, comme l'éolien, le progrès peut se situer dans des améliorations des technologies existantes.[*Photovoltaïque, Eolien Offshore*]

Dans le domaine de la production d'électricité, la libéralisation des industries électriques va se développer en prolongement de la Directive 92/96 sur les marchés électriques et va favoriser le développement de systèmes de production décentralisée tels les microturbines.[*Microturbines*]

Maîtriser le transport, la distribution et le stockage de l'énergie

Une multiplication, dans des conditions économiques intéressantes, des capacité massiques de stockage par un facteur dix permettrait de modifier considérablement le paysage énergétique.

En effet, la portabilité des appareils (téléphone, ordinateur,…) étant en plein essor, la demande de stockage d'énergie dans de petits volumes et donnant une autonomie toujours plus grande est extrêmement forte. Les alternatives technologiques sont ici nombreuses. Les enjeux apparaissent particulièrement significatifs pour le stockage électrochimique ou les piles à combustibles. La synergie des applications dans les transports, l'habitat (stationnaire), mais également les usines de production électrique, pourrait ouvrir d'ailleurs des perspectives de marché considérables. Les Etats-Unis, le Canada et le Japon sont les trois pays les plus avancés dans ce domaine. [*Stockage de l'énergie*]

[25] Le véhicule hybride (moteur à explosion et moteur électrique) étant probablement une solution intermédiaire.

Le transport de l'électricité à haute et très haute tension génère des nuisances sur l'environnement et pose des problèmes en matière de sécurité des installations. L'enterrement des lignes électriques est par exemple un axe de travail important pour EDF.
De plus, le développement de nouveaux matériaux de transport longue distance tels les supraconducteurs reste une priorité pour les années à venir. [*Supraconducteurs*]

Réduire les consommations d'énergie

La lutte contre les gaspillages d'énergie, initiée par les pouvoirs publics depuis le premier choc pétrolier, est devenue comme nous l'avons vu une préoccupation à la fois économique et environnementale.
Une meilleure information et une responsabilisation ont permis au consommateur et à l'industriel de mieux gérer leurs dépenses d'énergie. La mise en place de l'étiquette « énergie » par la communauté européenne en 1994 et appliquée en France progressivement depuis 1995 sur les appareils électroménagers en est une illustration. Les industriels quant à eux ont recours à la modernisation de leur appareil productif en vue de promouvoir une utilisation rationnelle de l'énergie.

Au-delà de l'objectif de la diminution de la consommation, cet objectif de réduction du poste énergétique pose également la question du choix de la source énergétique adaptée.

In fine, le consommateur final (industriel et ménages) cherche un confort supérieur, adapté exactement à sa propre situation, via en particulier l'utilisation d'une énergie économique et peu polluante[26].
Dans ce contexte, les développements technologiques sont continus pour maîtriser les consommations d'énergie. La gestion de l'air dans les bâtiments comme le développement des technologies d'éclairage en sont une illustration.[*La gestion de l'air dans les bâtiments, Eclairage et visualisation à basse consommation*]

[26] Source : CREDOC, 1999

Environnement

Introduction

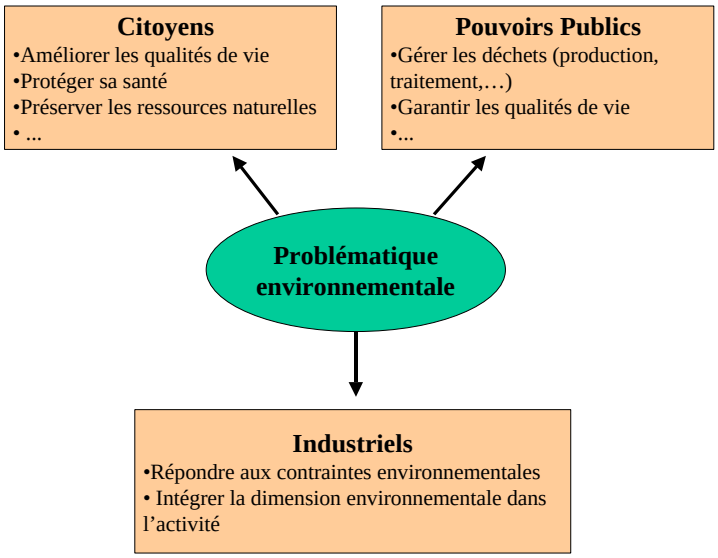
L'Environnement apparaît aujourd'hui, c'est devenu banal de le dire, comme un enjeu majeur pour notre société. Les pressions sociales se font grandissantes depuis quelques années, tout comme les évolutions réglementaires. Les dépenses de gestion de l'environnement pèseraient près de 9 % du PIB en France dans les trois prochaines décennies. Tous les secteurs d'activité sont concernés. Ainsi, comme le montre la partie précédente , la maîtrise de l'énergie a été un enjeu majeur depuis le premier choc pétrolier pour des raisons économiques, et le reste aujourd'hui aussi pour des raisons environnementales.
Même si de nombreuses évolutions ont eu lieu depuis ces vingt dernières années dans le domaine de l'environnement, seule la partie immergée de l'iceberg est aujourd'hui visible : « 76 % des chercheurs pensent que des problèmes radicalement nouveaux apparaîtront au cours du prochain siècle. Ils soulignent l'importance d'une vigilance accrue face à une nouvelle configuration de risques pour le XXIème siècle, émanant vraisemblablement davantage des systèmes créés par l'homme que des systèmes naturels »[27]

Contexte et problématique générale : la logique de Filières et le cycle de vie des produits

La préoccupation environnementale s'exprime désormais à tous les niveaux de la société (citoyens, industriels et Pouvoirs Publics) et relève de problématiques communes ou spécifiques aux différents acteurs.

Le citoyen se préoccupe d'abord de sa qualité de vie et de sa sécurité, et c'est aux pouvoirs publics qu'il appartient de traduire ces demandes et de prendre en compte l'intérêt général. Les industriels se doivent alors de répondre aux contraintes réglementaires en intégrant la dimension environnementale dans leur organisation. Au-delà de cette obligation, dans un contexte de pression sociale forte, cette intégration leur permet de générer une image positive auprès des consommateurs et des citoyens.
Ainsi, les évolutions dans le domaine de l'Environnement sont-elles directement liées à la demande sociétale et aux contraintes réglementaires. Dans le même temps, rien ne peut se faire sans la participation active des industriels.

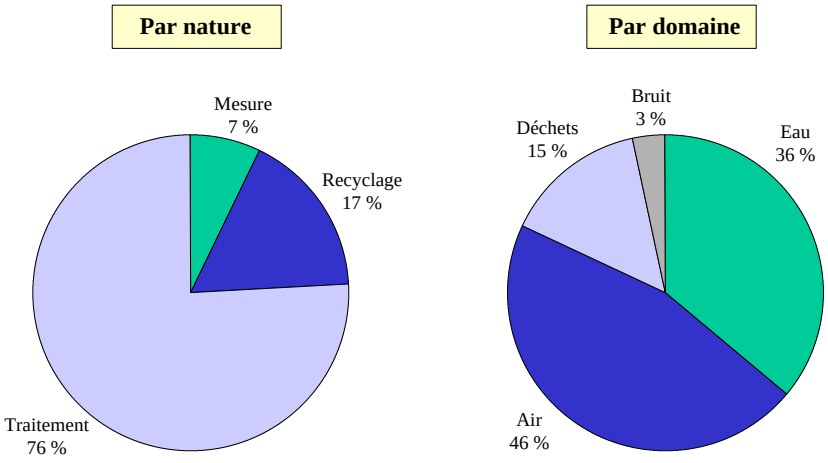
[27] Source : Environnement et Technique – Octobre 1998



Au-delà, si la réglementation et la pression sociale obligent les entreprises à intégrer la dimension environnementale, le coût d'une telle intégration reste encore aujourd'hui un frein important. Cette difficulté s'observe d'ailleurs au niveau macroéconomique à l'échelle nationale puisque jusqu'ici les fluctuations de la croissance économique ont toujours eu un impact direct sur les dépenses dites écologiques.

La problématique environnementale couvre aujourd'hui différents domaines plus ou moins liés : la gestion des déchets, la pollution de l'eau, la pollution des sols, la pollution de l'air, les nuisances sonores.

La répartition des investissements antipollution spécifiques en 1997 dans l'industrie

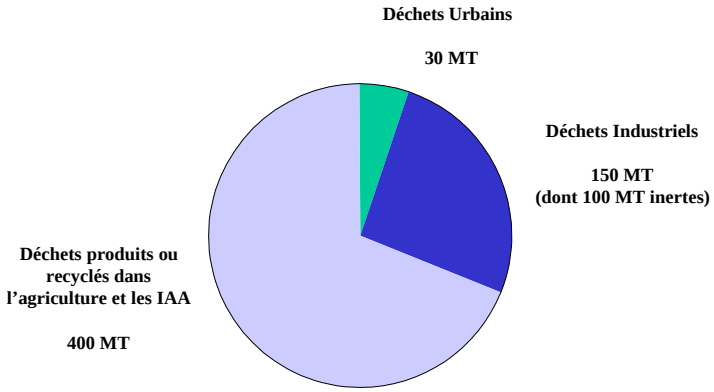


Total (y compris énergie) = 4 020 MF

Source : SESSI 97

En 1999, 200 à 300 000 sites industriels seraient potentiellement pollués en France dont 15 à 20 000 représenteraient des risques graves.
2 millions de personnes subissent des bruits supérieurs à 70 décibels dont 180 000 au niveau de leur logement (en raison prioritairement des infrastructures) et 500 000 via les avions.
La production de déchets atteint en 1996, 580 millions de tonnes et présente parfois des risques en terme de pollution des sols et de l'eau.
L'évolution des modes de vie (fractionnement des repas, hausse de la consommation de boissons embouteillées, progression de la consommation d'aliments emballés,…) a contribué à augmenter le volume de déchets ménagers ces dernières décennies (de 220 kg par habitant et par an en 1960 à 416 kg en 1995)[28]. Au-delà, l'ADEME estime la production française de Déchets Industriels Banals à 100 millions de tonnes par an.

Volume de déchets produits en France (1996)



Source : ADEME

Dans le même temps, la pollution de l'air, fortement médiatisée, s'est aggravée et accroît le nombre de maladies respiratoires.

Nous rentrons globalement dans une ère de gestion de vie des produits, même si la priorité reste encore le traitement en fin de vie des produits « hérités du passé ».
In fine, l'idéal serait de ne « produire que les déchets/pollutions » que nous pouvons gérer efficacement. Ce souci majeur de prévention qui contraint principalement les évolutions des procédés industriels, associé au besoin actuel d'évaluer les niveaux de pollution, est générateur de demandes technologiques fortes (et cela va de l'amélioration de technologies existantes [*Filtration membranaire*] jusqu'au développement de nouvelles technologies).
Ces demandes s'expriment à court terme comme à long terme et dans tous les secteurs. Le long terme est sans doute l'horizon le plus difficile à cerner compte tenu du manque de visibilité sur les besoins réels (impact des pollutions sur la santé, risque de pollution des sols,…). Constatons en effet que pour une large part, les stratégies liées à l'Environnement restent encore répressives et réactives.

Par ailleurs, si la problématique environnementale touche tous les secteurs, certains sont plus « sensibles » que d'autres, tels la santé, l'alimentaire au sens large du terme (agriculture et agro-industries), le transport, l'énergie,…

[28] Source : CREDOC, 1999

Les principaux enjeux dans le domaine de l'Environnement

L'analyse de la demande sociétale et industrielle d'une part et la prise en compte des opportunités liées aux développements d'offres technologiques d'autre part permet de distinguer deux enjeux principaux en matière d'environnement pour les années à venir : la protection du citoyen et l'optimisation de la gestion des déchets.

Protéger le citoyen

La demande de santé et la peur de la pollution

La sensibilité à la pollution et à ses effets sur la santé a fortement augmenté chez les français avec, en particulier, les grands débats en matière de Santé Publique (amiante dans les bâtiments, plomb dans l'eau, effets de la pollution atmosphérique sur la santé,…). Près d'un français sur deux se dit directement touché dans sa santé ou dans celle de ses proches par la pollution atmosphérique. Cette sensibilité s'est de plus accrue avec la diffusion des résultats de contrôles de l'air depuis 1995.

D'ailleurs, un certain nombre d'actions ont été relativement bien acceptées par les citoyens comme récemment la pastille verte ou encore l'équipement des véhicules d'un pot catalytique (un sondage BVA effectué en décembre 1997 montrait que 74 % des français seraient prêts à payer plus cher une voiture moins polluante afin d'améliorer la qualité de l'air). Au-delà, rappelons que cette demande de suivi de la pollution est aujourd'hui largement relayée par les pouvoirs publics via la loi sur l'air par exemple.

Cette « peur de la pollution » se traduit principalement aujourd'hui par des demandes de contrôles accrus dans tous les domaines de pollution éventuelle et par des exigences de plus en plus marquées de lutte contre la pollution, principalement de l'eau et de l'air.

Dans ce contexte, l'ensemble des outils de gestion et d'évaluation des risques environnementaux et sanitaires apparaissent clés : certains parleront de la priorité du management de l'environnement par rapport aux besoins d'amélioration des traitements de la pollution.*[Outils de gestion et d'évaluation des risques environnementaux et sanitaires*]

Notons que ces demandes sont aussi celles des industriels dont le souci est aujourd'hui de rationaliser leurs investissements et de valider les actions à entreprendre dans le cadre des contraintes réglementaires.

La demande de santé et la recherche de naturalité

Les crises alimentaires, en particulier celle de la « vache folle », l'arrivée des OGM (Organismes Génétiquement Modifiés) et les évolutions constatées dans les habitudes alimentaires (demande en produits biologiques, demande en produits naturels de qualité,…) attestent du développement des exigences des consommateurs pour des produits naturels.

Ces exigences ont en particulier des conséquences sur les pratiques agricoles et l'utilisation de produits adaptés à l'environnement mais aussi sur le souci du consommateur de maîtriser l'origine des produits qu'il achète. Ces exigences demanderont aux industriels de maîtriser des outils de mesure et de diagnostic pour assurer aux consommateurs la qualité de leurs produits. Elles nécessitent également le développement des techniques de traitement des sols et des effluents (gestion de la présence de métaux lourds par exemple).[*Développement des techniques de diagnostic et de traitement des sols, Elimination des métaux lourds dans les boues et les effluents*]

La demande de qualité de vie et la lutte contre le bruit

Le bruit est de plus en plus reconnu comme une véritable nuisance et la preuve est désormais faite qu'il a un impact sur la santé (troubles du sommeil, stress). Aujourd'hui, les sources de bruit concernent non seulement les avions mais aussi les voitures et les autres facteurs de proximité.[*Réduction des bruits*]
Comme dans le cadre de la pollution, l'Etat a relayé cette demande via la définition de « points noirs » et le plan Anti-bruit.
La demande sociétale est également très forte vis à vis de l'autre nuisance de confort que constituent les odeurs.[*Détection et traitement des odeurs*]

Optimiser la gestion des déchets

Au début des années 90, les déchets spéciaux ou dangereux étaient encore seuls soumis à une réglementation rigoureuse. Cette réglementation s'étend depuis aux autres déchets, qu'ils soient ordures ménagères ou déchets industriels banals. Par exemple, la loi de juillet 1992 prévoit l'élimination des décharges d'ici 2002, hormis les centres de stockage des déchets ultimes.

Cette loi va dans un premier temps dynamiser l'utilisation de technologies permettant d'une part la réduction du stock par traitement des déchets à leur phase ultime mais aussi leur stabilisation et donc l'assurance d'un stockage efficace sur la durée.[*Stabilisation en vue du stockage et de l'utilisation écocompatibles des déchets ménagers et industriels*]
Au-delà, cette loi va de fait générer des volumes de déchets importants non stockables ; l'enjeu est donc aujourd'hui :

- d'identifier à court terme de nouvelles filières de valorisation de ces déchets (de la destruction à la valorisation matière),[*Recyclage des matériaux spécifiques, Technologies de la déconstruction*]
- mais aussi, à long terme de limiter et d'optimiser la production de déchets en quantité et qualité (réduction à la source).

Ainsi, le ministère de l'Environnement cherche-t-il à favoriser de plus en plus le recyclage : une circulaire du 28 avril 1998 prévoit qu'à l'horizon 2005-2007, la moitié des déchets devra être valorisée par recyclage des matières ou recyclage biologique.

Les déchets sont donc amenés à devenir des co-produits dans les filières industrielles et devront être collectés, triés, traités,…
Le développement du tri des déchets et de la collecte sélective a été relativement bien accepté par les français. On dénombre aujourd'hui 12 millions de citoyens trieurs contre 2,8 millions en 1994. De même, le nombre de centres de tri est passé de 8 en 1994 à 170 en 1996 et devrait atteindre près de 200 en 2002[29].

Les industriels sont quant à eux dans l'obligation de gérer leurs propres déchets. En effet, l'élimination des déchets industriels relève de la responsabilité des entreprises qui les produisent et, suite aux différentes réglementations mises en place, le coût d'élimination des déchets est aujourd'hui croissant pour les industriels. L'enjeu est donc pour eux aussi bien environnemental qu'économique. Il s'agit de réduire les déchets produits, d'opérer un tri efficace et de mettre en œuvre les filières de valorisation appropriées en terme d'efficacité et de coût.

[29] Source : CREDOC, 1999

II.5 - Technologies du Vivant – Santé - Agroalimentaire

Résumé

Les outils et les techniques utilisant des organismes vivants, regroupés sous le vocable de biotechnologies, ont déjà connu de forts développement, marqués périodiquement d'annonces spectaculaires. Dans le même temps, les secteurs d'application s'élargissent : parties de la santé humaine et de l'agriculture, les biotechnologies sont mises en œuvre également par les industriels de l'agro-alimentaire, de la chimie et de l'agrochimie. Les attentes des utilisateurs sont très fortes tant dans le domaine de la santé humaine du fait du vieillissement de la population et de la recherche du confort, de la sécurité et du bien-être, que dans le domaine de l'agro-alimentaire avec une forte exigence de « rassurance » mais également de personnalisation de l'offre alimentaire.
Ces développements incontestés touchent cependant de plus en plus fréquemment aux questions d'éthique. La course entre la rapidité des évolutions scientifiques et technologiques et l'affirmation de choix éthiques puis leur éventuelle transcription législative demeurera un des éléments structurant des années à venir.
Dans ce contexte, les enjeux essentiels portent, dans le domaine de la santé sur la médecine prédictive, l'utilisation des résultats du génotypage (thérapie génique et cellulaire) et des animaux transgéniques ainsi que la télémédecine. Dans le domaine agro-alimentaire, les enjeux portent en particulier sur la transgénèse, les technologies douces (qui regroupent des techniques comme les hautes pressions, champs électriques et champs magnétiques pulsés,…), la démarche de conception assistée des aliments ainsi que la qualification des régulations métaboliques par l'alimentation chez l'homme et l'identification de marqueurs.

Introduction

Le domaine du vivant constitue aujourd'hui un axe majeur pour la Société aussi bien en France qu'à l'échelle internationale. L'explosion de la biologie moléculaire depuis les années 60 (Prix Nobel de Watson et Crick en 1962) a permis des avancées considérables des connaissances des mécanismes moléculaires et cellulaires. Ces dernières ont permis le développement d'une industrie nouvelle (biotechnologies) dans des domaines tels que la santé humaine, l'agriculture, l'agro-alimentaire ou la production industrielle de molécules de base. Les biotechnologies jouent donc aujourd'hui un rôle central dans un vaste champ d'applications industrielles . Elles sont également tirées par une demande sociétale forte en particulier dans le domaine de la santé (guérir des maladies tels les cancers, le SIDA, la maladie d'Alzheimer,…).
Ce développement incontesté touche cependant de plus en plus fréquemment aux questions d'éthique, et des choix, proposés par des Comités d'Ethique nationaux, sont progressivement faits, notamment en Europe.
Sous la pression des choix éthiques d'une part, de la demande sociale d'autre part les technologies du vivant tendent plus aujourd'hui vers une logique de développement durable.
Enfin, comme nous le verrons, si les biotechnologies jouent un rôle essentiel dans les domaines de la Santé et de l'Agro-alimentaire, des enjeux propres à chacun d'eux apparaissent.

Les technologies du vivant et l'essor des biotechnologies

Problématique générale

Un certain nombre d'outils et de techniques utilisant des organismes vivants, regroupés sous le vocable de biotechnologies, se sont développés ces 30-40 dernières années en vue non seulement de procéder à des transformations ou à des modifications des organismes, animaux ou végétaux (génie génétique), mais également d'utiliser ces derniers. Les biotechnologies trouvent des applications dans de nombreux domaines tels que la santé (pharmacie et diagnostic), l'agro-alimentaire (agriculture et industries alimentaires), maintenant l'environnement (chimie et agrochimie), et plus largement la valorisation non alimentaire des produits agricoles.
Elles présentent des avantages certains : isoler les gènes responsables de certaines maladies, trouver des plantes résistantes aux virus, utiliser des animaux ou végétaux transgéniques comme modèles,…sont autant d'applications dont les débouchés économiques et l'impact sanitaire et social sont potentiellement immenses. Déjà, dans le domaine de la santé, les ventes de médicaments issus des biotechnologies représentent 5 % des ventes totales ; près d'un médicament sur cinq est fabriqué aujourd'hui par des procédés de biotechnologie ; les dix produits issus des biotechnologies les plus vendus dans le monde étaient, en 1997, des produits à usage médical. Il n'est donc pas étonnant que les Etats-Unis et le Japon, principaux concurrents de l'Europe, mènent des projets de recherche très importants dans ce domaine.

L'utilisation des biotechnologies met cependant parfois en cause des choix éthiques anciens qu'il est nécessaire de réaffirmer et de faire respecter. Des débats nouveaux surgissent qui devront être tranchés.

Au-delà de la perception, par le public, de l'incertitude sur les conditions d'innocuité des produits et du manque de transparence de la réglementation, des efforts sont sans aucun doute nécessaires pour informer, éduquer mais surtout renforcer la réflexion éthique et réglementer lorsque cela s'avère nécessaire.
Sur ce dernier point, les pays de l'Union Européenne ont ainsi adopté, en juillet 1998, une directive en vue de protéger juridiquement les inventions biotechnologiques. L'objectif est en particulier d'harmoniser la gestion des brevets tant sur les produits issus des biotechnologies que sur les procédés de production et de traitement (transformation) des matières biologiques. En mai 1998, une réglementation sur l'étiquetage des denrées contenant des OGM (Organismes Génétiquement Modifiés) a été adoptée. Cependant, ces orientations n'ont pas été approuvées par tous les pays de l'Union.
Le débat tout juste entamé sur la mise dans le domaine public, pour des raisons éthiques, de l'ensemble de la carte du génome humain est un autre exemple de l'imbrication croissante des questions d'éthique et de modalités de développement des biotechnologies.

Dans le même temps, les citoyens sont de plus en plus sensibles à ce qu'ils mangent, à la protection de leur santé mais aussi à celle de l'environnement. Certaines crises alimentaires comme l'encéphalopathie spongiforme bovine (ESB ou « vache folle ») ou encore le problème des dioxines, fortement relayées par les média, n'ont fait que renforcer leur prudence et leur recherche de sécurité. Le consommateur souhaite aujourd'hui connaître l'origine des produits qu'il achète et se déclare, au fil des enquêtes d'opinion, de plus en plus opposé aux « manipulations génétiques », quelquefois relayé par les politiques. Cette méfiance pourrait freiner voire stopper le développement de ces technologies pour une utilisation agro-alimentaire (alimentation des animaux, alimentation humaine). L'acceptabilité apparaît plus forte dans le domaine de la santé, en particulier lorsqu'il s'agit d'amélioration des traitements médicaux. Ce meilleur accueil ne doit pas cependant faire oublier les

enjeux éthiques persistants comme dans le cas du clonage, des débats sur la thérapie génique ou des greffes d'organes animaux.
La course entre la rapidité des évolutions scientifiques et technologiques et l'affirmation de choix éthiques puis leur éventuelle transcription législative demeurera un des éléments structurant des années à venir.

Les principaux enjeux

Depuis quelques années déjà de nombreux programmes nationaux et internationaux ont visé à établir la cartographie de différents génomes (humain mais aussi celui de la levure, du porc, des plantes,…). Cette analyse du génome repose sur l'utilisation et le développement des techniques de génie génétique : clonage, extraction des acides nucléiques, hybridation moléculaire,…
Ce domaine est globalement bien avancé et sa finalisation est attendue dans les prochaines années. Les verrous actuels résident dans la détection d'ARN messagers peu abondants et l'étude du protéome.
Dans un premier temps, les objectifs sont la réparation des gènes porteurs d'une pathologie *[Thérapie génique]* ou l'introduction de cellules recombinantes productrices de protéines thérapeutiques *[Thérapie cellulaire]* ; une quinzaine de protéines-médicaments est actuellement commercialisée dans le monde et plusieurs centaines sont en cours d'essais cliniques.
Dans un deuxième temps les retombées espérées de la cartographie du génome sont la détection précoce des prédispositions génétiques d'un individu et les traitements préventifs qui pourront en découler. Là encore, des choix éthiques clairs devront certainement être formulés et partagés.

Dans les domaines agricoles et agroalimentaires, la découverte de gènes particuliers permettra d'obtenir des plantes et des animaux transgéniques plus résistants à certains agents pathogènes et mieux adaptés aux besoins des utilisateurs. Néanmoins, le débat ouvert sur l'impact environnemental des produits ainsi obtenus se poursuivra également.
Quatre autres domaines d'applications des animaux transgéniques sont envisageables :

la production de protéines-médicaments. Les enjeux seraient considérables puisque le marché annuel des protéines-médicaments dans le lait par exemple est estimé à environ 8 milliards d'euros *[Ingénierie des protéines]*;

la culture de cellules saines ré-injectables dans un organisme malade par thérapie cellulaire. Les enjeux économiques et sociaux sont importants. La maladie d'Alzheimer concerne 20 millions de personnes dans le monde, celle de Parkinson 4 millions de personnes en 1990, le diabète en progression constante devrait atteindre 300 millions de personnes en 2025, le nombre de cancers devrait doubler d'ici 2020 avec 20 millions de nouveaux cas *[Clonage des animaux] [Greffe d'organe]*;

l'utilisation des animaux transgéniques comme donneurs d'organes pour des xénogreffes : 4000 personnes meurent chaque année aux USA faute d'organe disponible. Cette utilisation est cependant sujette à des débats éthiques importants ;

leur utilisation pour tester des médicaments, améliorer les espèces ou les sauvegarder.

En ce qui concerne les plantes, les premiers travaux de transgénèse ont démarré en 1980. En 1996, les Etats-Unis ont développé les premiers semis d'OGM *[Transgénèse] [Détection et analyse des risques pour l'environnement lié aux OGM]*. En 1999, 25 millions d'hectares étaient cultivés aux USA contre 2 milliers en France. Les objectifs de telles pratiques sont en particulier :

d'améliorer les conditions agronomiques : résistance aux virus, bactéries,…,

d'améliorer la qualité des produits (nutritionnelle, durée de conservation,…),

de permettre la synthèse de molécules thérapeutiques.

Trois enjeux semblent aujourd'hui déterminants :

la vérification des conditions d'innocuité des produits ainsi modifiés,

la validation de l'absence de risque de transfert de gènes à d'autres espèces,

l'évaluation de l'impact environnemental éventuel.

D'une manière générale le génie génétique reste primordial : il permet en effet de modifier un programme génétique codant pour une protéine et par conséquent de lui conférer des propriétés adaptées à une application. Il est ainsi possible par ingénierie d'améliorer l'efficacité d'enzymes industrielles vis à vis de divers substrats, d'adapter les propriétés d'anticorps monoclonaux à un diagnostic particulier ou à un protocole thérapeutique,… Le choix des modifications à apporter, encore appelé ingénierie des protéines, repose sur la connaissance de ces dernières (connaissance de leur structure en liaison avec leur activité). Les méthodes d'investigation telles la cristallisation, la prédiction des structures 3D, la dynamique des structures et l'utilisation de l'IRM sont en particulier clés dans ce domaine. Bien sûr cette ingénierie ne se limite pas aux protéines et concerne d'autres molécules (acides nucléiques, oligosaccharides,…)

Le ratio coût-efficacité et l'acceptation par le public sont prédominants dans la santé

Problématique générale

Le domaine de la santé présente de multiples facettes. Il rencontre des intérêts parfois divergents. Les citoyens, tout d'abord, ont de fortes attentes en matière de santé tant sur les maladies fréquentes (cancer, sida, maladie d'Alzheimer,…) que les maladies rares (exemple de la mobilisation autour du Généthon) et montrent aussi un souci grandissant de bien-être, attentes renforcées par les développements « spectaculaires » des biotechnologies. Les industries pharmaceutiques de leur côté doivent prendre en compte la dimension économique de leur activité et effectuer des choix d'investissements qui ne sont pas toujours en accord avec les attentes des citoyens. Enfin, l'Etat, devant le poids économique important pris par ce domaine cherche à réduire ou optimiser les dépenses de santé. Pour mémoire, en France, les dépenses de santé ont connu une forte croissance ces trente dernières années. Elles ont été multipliées par 7 entre 1970 et 1997. En 1996, la santé représentait 10,2 % de la consommation des ménages français et figurait en quatrième position dans la structure de la consommation . La santé est donc à la croisée d'enjeux qu'il convient de hiérarchiser.

Clairement, dans ce contexte, les développements technologiques entrepris par les industriels dans le domaine de la santé seront contraints par deux dimensions principales :

Le ratio coût-efficacité des traitements mis en œuvre. En particulier des arbitrages pourraient être opérés pour arrêter le financement de certains traitements en fonction du nombre de cas concernés et même de l'âge des patients (de telles pratiques sont déjà en cours dans les pays du nord de l'Europe).

Cette dimension particulièrement sensible posera des problèmes éthiques et déontologiques importants. Au-delà, il semble que ce ratio déterminera le développement ou non de certaines biotechnologies.

L'acceptation par le public des nouvelles technologies et des pratiques qui leurs sont associées, pour autant qu'elles satisfassent aux règles d'éthiques en vigueur (utilisation de cellules humaines pour des greffes, non accès à l'aide financière pour certains soins pour les populations âgées, …)

Au-delà, il apparaît que l'émergence incontestée des biotechnologies va avoir un effet restructurant important sur les industries pharmaceutiques. Les biotechnologies favorisent en effet l'apparition de médicaments « sur mesure », c'est-à-dire ciblés sur un gène (pharmacogénomique). Une telle évolution pousserait les industriels à changer de métier et d'organisation.

Les enjeux dans le domaine de la santé

En ce qui concerne la demande plusieurs tendances sont observables aujourd'hui :

Le vieillissement de la population
Ce point a déjà été développé au chapitre I.2 relatif aux tendances de la demande. Il doit être repris ici. D'après l'INSEE, en 1998, les personnes de plus de 60 ans constituent 20,4 % de la population totale en France. En 2020, elles représenteront environ 26,8 %, soit plus du quart de la population. Ce vieillissement a des conséquences directes sur le développement de maladies nouvelles (cancer, Alzheimer) mais aussi sur l'augmentation du risque de maladies même bénignes (arthrose, surdité, rhumatismes,…) et les fréquences d'hospitalisation. Le domaine de la santé doit donc s'adapter à cette nouvelle population, le plus souvent moins mobile. Pour ce qui relève des conséquences économiques de ce vieillissement, deux thèses s'opposent. Pour les uns, le coût des dépenses de santé serait pour l'essentiel lié aux dernières années de vie, et est donc en fait décalé dans le temps. Ce coût n'augmenterait donc pas considérablement du fait du vieillissement. Pour d'autres, les dépenses de santé d'une population vieillissante sont inévitablement appelées à croître de façon significative.

L'état actuel de la santé des français
La grande majorité des soins effectués aujourd'hui en France concerne les maladies dites dégénératives et les accidents, tentatives de suicides et d'homicides. De plus, certaines maladies infectieuses telles le Sida se sont développées ces vingt dernières années. Au-delà, certains phénomènes comme la pollution atmosphérique et les infections contractées dans les hôpitaux génèrent des problèmes importants.
Pourtant, au total, la santé des français est plutôt en amélioration.
Dans ce contexte, les besoins les plus notables relèvent de la prévention et du traitement de maladies lourdes.

La société actuelle tend vers la recherche du confort, de la sécurité et du bien-être. Ce changement de mode de vie déjà évoqué au chapitre I.2 a des implications fortes. Il se traduit par :

- des exigences fortes sur la prise en charge hospitalière.
  Il a récemment été question par exemple de la prise en compte de la douleur, particulièrement pour les enfants et les malades en soins palliatifs. Dans le même temps beaucoup de communications sont faites sur la prévention (accidents de la route, conséquences de la tabagie ou de l'alcoolisme mais aussi développement des dépistages). A noter, dans ce contexte, que la responsabilisation du citoyen est aussi demandée : automédication,…
- l'exigence de la mobilité.
  En parallèle à la personnalisation des relations avec l'univers médical, l'allègement des traitements médicaux est une attente des patients comme des gestionnaires du système de santé. Ceci se traduit en particulier par des hospitalisations de durées plus courtes ou moins fréquentes mais aussi par le développement de systèmes de traitement plus légers ou plus pratiques, y compris à domicile.
- la recherche d'un corps performant
  En marge des problèmes de santé stricto sensu, des attentes se sont développées en terme d'entretien du corps, d'esthétique, en passant par le maintien des facultés intellectuelles malgré l'âge,… On assiste donc depuis ces dernières années à l'essor du domaine de la « forme ». En corollaire, le recours aux médicaments dits de confort (antalgiques non prescrits, vitamines, anti mal de mer,…) ouvre des perspectives de marché considérables.

Le souci de l'Environnement

Le souci de l'Environnement s'exprime actuellement de manière transversale dans tous les secteurs d'activité. L'industrie pharmaceutique est un des secteurs particulièrement visés par les préoccupations environnementales. Au-delà de solutions efficaces aux problèmes de santé, le citoyen devient de plus en plus sensible à la prise en compte de la question du développement durable.

Dépassant la seule perspective de la demande, il nous faut aussi aborder ici la dynamique de la science et de la technologie, et donc les axes de recherche dominants dans le domaine de la santé :

La poursuite de la découverte des vertus des molécules naturelles dont la médication par les plantes

L'outillage de la recherche et des interventions médicales dont l'imagerie médicale *[Imagerie médicale]*

Les technologies peu ou non invasives d'intervention médicale

Le développement des substituts et des appareils de suppléance au corps humain et, en particulier le substitut du sang, la suppléance cardiaque, les biomatériaux pour appareillage médical, le génie tissulaire, la conception de technologies liées à l'hospitalisation à domicile.

A titre d'exemple l'offre en génie tissulaire trouve de nombreux débouchés afin de :

- constituer une alternative aux transplantations dans le cadre d'insuffisance hépatique ou rénale, le cancer du foie, la destruction de la moelle osseuse ;
- traiter des affections particulières comme les ulcères de la peau, l'arthrose ou l'incontinence ;
- permettre la chirurgie reconstructrice ;
- tester au niveau expérimental les effets des médicaments.

Au-delà, comme nous l'avons précisé dans la première partie la pharmacogénomique est un axe de développement important pour l'industrie pharmaceutique qui s'appuiera sur l'ensemble des technologies permettant de produire des médicaments adaptés au profil génomique d'un individu (médecine prédictive, génotypage).

Deux autres domaines associés aux outils informatiques apparaissent aussi stratégiques dans le domaine de la santé :

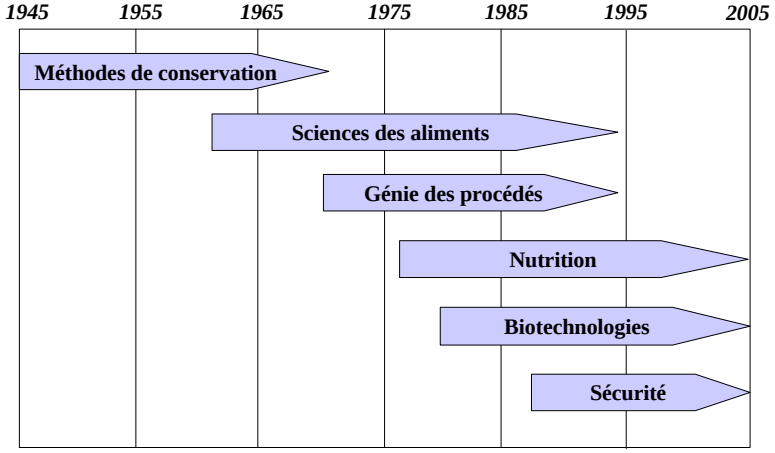
l'informatique appliquée à la biologie : aujourd'hui la double compétence biologie-informatique est peu fréquente et freine de manière relativement importante le développement de certaines technologies au niveau national ;

La santé et Internet : au regard de l'expérience des Etats-Unis (4-5 réseaux déjà existants au niveau national) la médecine de demain pourrait se faire en partie par Internet. Le net serait le lieu de la pratique (télédiagnostic ; télémédecine) *[Chirurgie assistée par ordinateur]* et du commerce de la médecine. Dans une logique globale de réduction des coûts, l'utilisation d'Internet permettrait de réduire les coûts d'intermédiation de 10 à 20 %.

« Gérer le bon vivant » une priorité dans le domaine de l'agro-alimentaire

Comme pour la santé, le domaine de l'agro-alimentaire présente des enjeux spécifiques et multiples. Jusqu'ici, les principaux enjeux dans ce domaine consistaient à répondre aux besoins croissants des consommateurs en terme de qualité et de diversité des produits. Les crises alimentaires récentes comme celle de la « vache folle » ou encore des dioxines, ainsi que le développement de la problématique environnementale ont eu des impacts importants sur les attentes des consommateurs. La recherche sur les aliments a donc été en particulier poussée ces dernières années par la demande sociale mais aussi par celle des industriels.
En effet, les consommateurs demandent non seulement un développement des qualités biologiques des produits mais aussi une connaissance de plus en plus poussée de leur origine. En ce sens la traçabilité et l'hygiène alimentaire deviennent une préoccupation majeure.
Les industriels, comme les agriculteurs se trouvent contraints à intégrer une nouvelle dimension dans leurs activités : « gérer le bon vivant »[30]. Ces enjeux apparaissent importants au regard du poids économique du domaine alimentaire : les industries alimentaires ont généré en 1998 un chiffre d'affaires de 122 Mds d'euros en France, employé 403 000 salariés et dégagé un excédent de la balance commerciale d'environ 6 Mds d'euros. De plus, si la part des dépenses alimentaires a diminué ces dernières années, elles structurent encore la consommation, pesant pour près d'un cinquième de la consommation totale.

L'évolution des priorités dans le domaine de l'alimentaire peut être présentée de la manière suivante :



Les enjeux dans le domaine de l'agro-alimentaire

Une des tendances mises en évidence au chapitre I.2 conduit à la problématique actuelle du domaine de l'alimentaire, celle de « gérer le bon vivant ». Dans ce contexte les industriels doivent maîtriser un nombre important de dimensions :

- Maîtrise de l'ensemble des filières, de la production agricole à la distribution des produits ;
- Maîtrise d'approches scientifiques et techniques multidisciplinaires ;
- Maîtrise des trois paramètres de la qualité – la sécurité hygiénique, la valeur santé, le plaisir ;

[30] D'après Ind.Alim.Agr. décembre 98

Par ailleurs la demande traduit cette complexité aujourd'hui caractéristique du domaine de l'alimentaire. On pourra retenir certaines tendances notables :

La demande de santé – sécurité ; une forte exigence de 'rassurance'

Comme nous l'avons vu précédemment, une crise de confiance est apparue ces dernières années dans la consommation alimentaire des français et des européens. Cette méfiance, faut-il le rappeler, porte aussi, en France, sur les Organismes Génétiquement Modifiés. Dans ces débats passionnés et pour partie irrationnels, seuls des tests / preuves concrets pourront garantir l'acceptation de ce type de produits. Au-delà, la réglementation, son respect scrupuleux et des dispositifs de contrôle restent les garants de la sécurité et donc de la confiance de consommateurs devenus prudents sinon frileux.

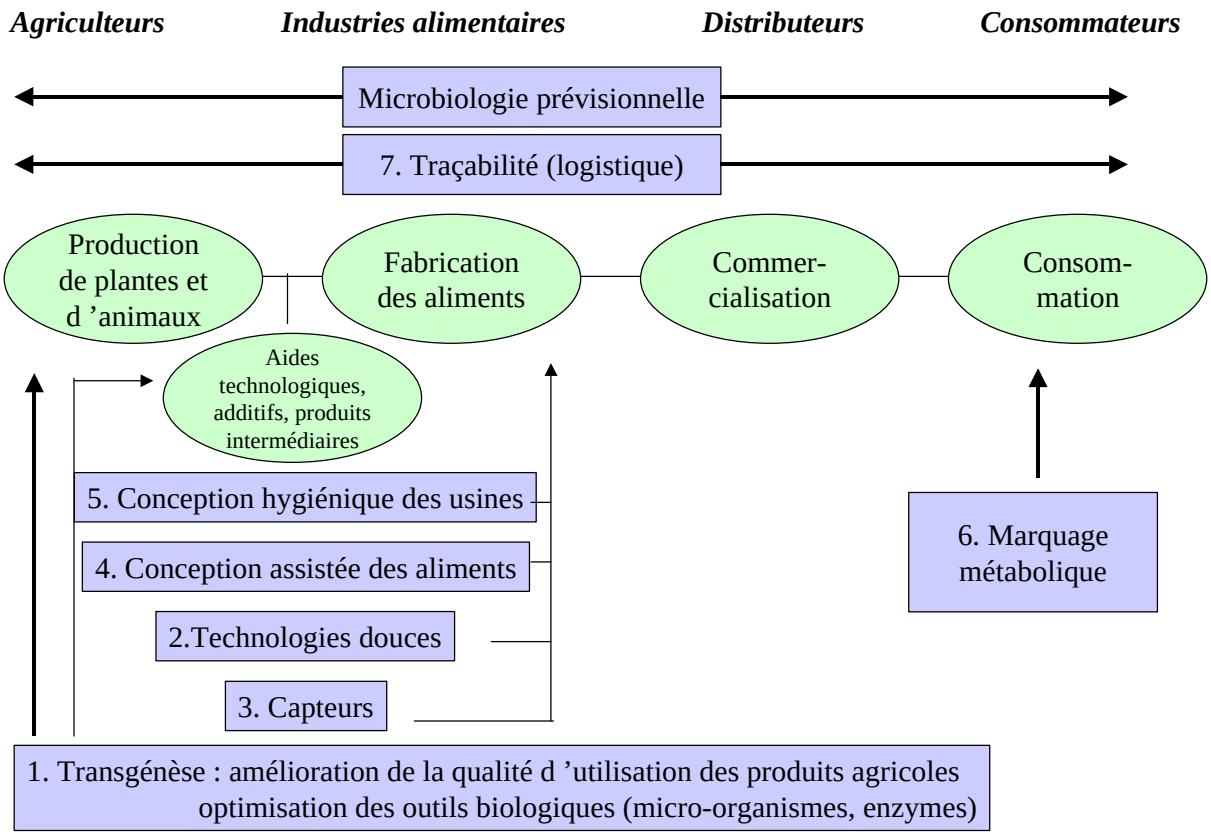
Lié à ces diverses crises de confiance s'ajoute ***le besoin de bien-être*** tel qu'il a été identifié au chapitre I.2. Ce besoin se traduit par :

- La demande de santé et la naturalité
  Les demandes des consommateurs vont vers une alimentation saine parfois qualifiée de biologique. Ces demandes ont en particulier un impact direct sur les pratiques culturales : l'agriculture biologique revendique de ne plus utiliser de produits phytosanitaires.
- La demande santé – performance
  Comme précédemment, les produits « bons pour le corps » tels les aliments fonctionnels représentent une demande relativement importante et viennent supplanter les anciens besoins, par exemple en produits amaigrissants,…
- La recherche de plaisir par le goût
  Le goût est un sens important pour les français car il est lié au plaisir de l'alimentation. Les industriels, pour satisfaire leur clientèle doivent donc développer des produits au goût authentique et recherché. Si la demande en produits biologiques répond à cette attente, les autres produits alimentaires ne dérogent pas à la règle. Ceci suppose donc des progrès en analyse sensorielle.

La personnalisation du rapport à l'alimentation

Nos modes de vie ont changé ces dernières décennies et demandent une modification des usages alimentaires. Les aliments doivent être facilement utilisables et répondre aux différents besoins : ménage mononucléaire, mobilité importante, journée éclatée,… Un ensemble de produits est donc nécessaire comme les prêts à cuire, les conditionnements individuels,…

Dans ce contexte un certain nombre de technologies apparaissent importantes et ont un impact sur l'ensemble de la filière agro-alimentaire comme le montre le schéma ci-dessous :



Source : d 'après P.Feillet - Directeur du Gisria

1. La transgénèse, en association avec les outils traditionnels du génie génétique et de l'amélioration des variétés et des races, doit permettre l'optimisation de la composition des produits végétaux et animaux ainsi que les outils biologiques (micro-organismes, enzymes) mis en œuvre dans la fabrication des aliments *[Transgénèse]*. Les objectifs concernent en particulier les conditions de stockage, de transport et de transformation des produits et la qualité sanitaire, nutritionnelle et organoleptique des aliments ;

2. Les technologies douces sont des procédés de transformation conservant le caractère naturel des produits finis tout en assurant leur qualité hygiénique et leur valeur santé. Leur mise en œuvre doit permettre de préserver les propriétés nutritionnelles et organoleptiques des aliments tout en assurant leur sécurité mais aussi de conserver le caractère « naturel » des matières premières. Les technologies douces regroupent des techniques comme les hautes pressions, champs électriques et champs magnétiques pulsés,… *[Technologies « douces » pour la préservation de la qualité des aliments]*

3. Le développement et la mise en œuvre de capteurs est un enjeu important afin de maintenir la régularité des fabrications et l'adaptation des paramètres machines à la variabilité des matières premières.

4. La démarche de conception assistée des aliments concerne en premier lieu l'élaboration de méthodes et outils destinés à maîtriser la qualité d'un produit dont les caractéristiques finales ont été pré-identifiées et définies dans un cahier des charges. L'évolution récente de la demande alimentaire et des déterminants de la compétitivité économique sur les marchés nationaux et internationaux implique pour les industries agroalimentaires d'être en mesure de garantir la maîtrise de leur production (qualité et sécurité), d'accroître leur capacité d'innovation, et

d'améliorer la flexibilité de leurs procédés et outils de production pour s'adapter à la demande. Les méthodes de conception assistée des aliments leur permettent de répondre à ces contraintes.

5. L'objectif de la conception hygiénique des usines alimentaires est de contribuer à la garantie de la qualité sanitaire des aliments en intervenant sur l'ensemble des points critiques des chaînes de fabrication : du nettoyage des ateliers au conditionnement des produits, de la gestion de l'eau à celle des flux d'air. Les industriels apparaissent aujourd'hui fortement sensibilisés à cette problématique d'autant plus que les consommateurs sont de plus en plus vigilants sur la sécurité des aliments qu'ils consomment.

6. L'alimentation peut en effet avoir des implications directes sur l'état de santé des consommateurs. La nutrition, étude des relations entre l'alimentation et l'état de santé des consommateurs représente une cible privilégiée de la réflexion de la recherche publique et de l'industrie alimentaire. Deux effets des aliments en relation avec la santé sont retenus : l'effet santé d'un aliment (ex : produits fermentés et probiotiques exerçant un effet protecteur au niveau du tube digestif) et l'effet sur la santé (risque de cancer lié à la consommation de poisson contaminé par des polluants). Dans ce domaine la qualification des régulations métaboliques par l'alimentation chez l'homme et l'identification de marqueurs sont des axes de travail importants. En effet, le marquage métabolique permet de mieux identifier les « effets santé » des aliments : il constitue ainsi un appui à la conception d'aliments de santé et permet une meilleure compréhension des effets long terme des aliments sur la santé *[Marquage métabolique des aliments]*.

7. La traçabilité correspond au suivi et à l'optimisation de la circulation des produits alimentaires en vue d'assurer la sécurité des aliments et permet de répondre à la demande de plus en plus forte des consommateurs en ce qui concerne l'identification de l'origine et de la qualité des produits *[Traçabilité]*.

II.6 - Transport – Aéronautique

Résumé

Les problématiques rencontrées par le domaine Transport et Aéronautique sont de 3 ordres :

La gestion des espaces, qu'il s'agisse d'espace interne (aux véhicules), d'espace externe (infrastructures de transport) et enfin espaces de fréquences (afin de gérer les liaisons entre les véhicules et les infrastructures) ;

La réponse à une demande de transport de personnes et de marchandises croissante, tout en respectant des contraintes environnementales fortes ;

L'adaptation des structures organisationnelles aux nouvelles exigences de marché et aux nouvelles technologies disponibles.

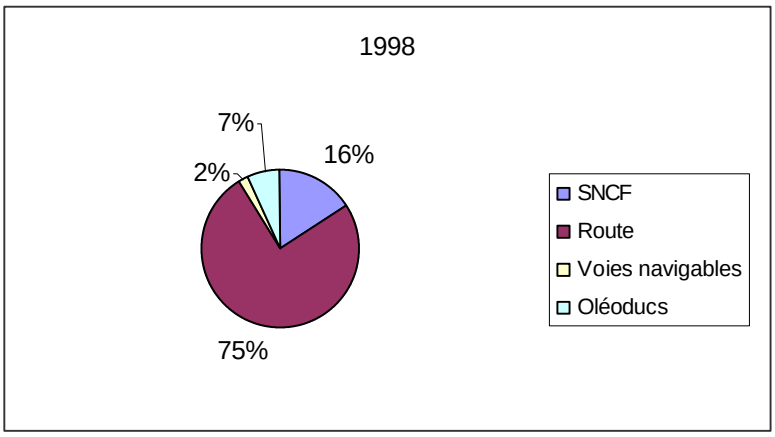
Divers enjeux technologiques en découlent, certains étant déjà bien connus, tels que la maîtrise de l'énergie (stockage, propulsion, émissions post-combustion), d'autres voyant le jour avec les nouvelles opportunités de développement technologique offertes par l'évolution en particulier des technologies de communication (interfaces homme-machine dans le cadre de l'automatisation des moyens de transport, architectures électriques et électroniques par exemple). Des éléments d'incertitude demeurent, d'une part sur les évolutions logistiques induites par les évolutions des marchés (par exemple le commerce électronique), mais également sur un plan technique, sur la rentabilité et donc les choix de solutions technologiques qui seront faits en termes de moteurs par exemple.

Les transports sont un domaine en croissance permanente, connaissant des évolutions annuelles en Europe de l'ordre de + 5 % pour le transport des voyageurs et + 6,6 % pour les marchandises (de 1997 à 1998, source Cemt).
En France, les transports représentaient sur un plan économique à fin 1998 environ 4,2 % des actifs, 14,9 % de la consommation totale des ménages. Les tableaux ci-dessous offrent un panorama des entreprises du transport en 1997, ainsi que la répartition des transports terrestres de marchandises sur le territoire métropolitain.

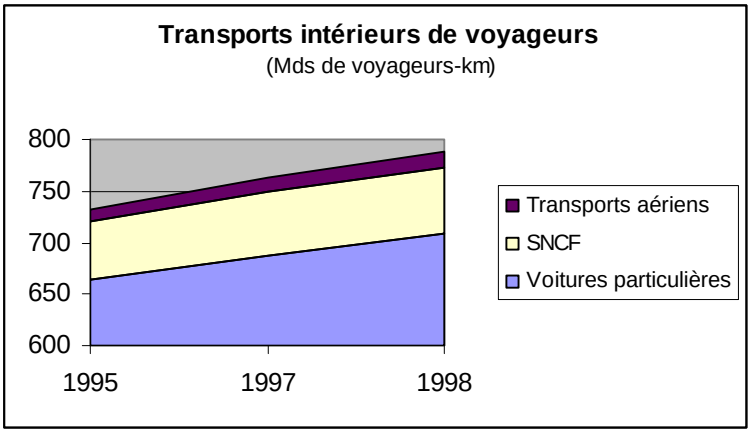
Les entreprises en 1997 (source ecostat)

Domaine	Nombre d'entreprises	CA transport (Mds FF)	Effectif total
Ferroviaire	11	73,9	174 629
Routier et urbain	28 658	64,6	158 768
Routier de marchandises	40 504	147	282 887
Transport par conduites	14	9,8	1 064
Maritime et côtiers	199	26,6	11 219
Fluvial	47	1,2	1 304
Aériens	150	74,8	56 835
Manutention et entreposage	1 064	20,3	30 575
Gestion d'infrastructures	880	54,9	40 675
Organisation de transport de fret	2 270	118,1	104 957
TOTAL	73 797	581,2	862 913

Répartition des transports terrestres de marchandises sur le territoire métropolitain pour un volume total de 460 Mds de tonnes-km (source ecostat)



Répartition des transports intérieurs de voyageurs (source ecostat)



Enfin, pour compléter ce panorama des transports, les transports on représenté 25 % de la consommation finale énergétique française en 1998.

Le thème Transport Aéronautique est en fait un thème très large, couvrant des domaines pour certains complémentaires, pour d'autres hétérogènes. Les problématiques technologiques rencontrées dans le domaine du transport routier ne sont en effet a priori pas les mêmes que celles rencontrées dans les transports ferroviaires, aériens, ou maritimes, et n'ont souvent rien à voir avec le domaine spatial. Les discussions avec les experts de ces différents domaines ont cependant fait apparaître des préoccupations et des points technologiques critiques communs à ces domaines.

Les enjeux généraux pour le domaine Transport Aéronautique

Gérer l'espace disponible

Le problème majeur évoqué dans le cadre du thème Transport Aéronautique est sans doute celui de la gestion des espaces :

Espace interne : les véhicules d'une façon générale, des satellites aux rames de TGV en passant par les bateaux ou les automobiles, sont des espaces confinés qui seront amenés à évoluer fortement pour pouvoir contenir l'ensemble de l'équipement embarqué découlant des fortes évolutions technologiques en cours (instruments de communication avec l'extérieur, instruments de navigation, instruments de diagnostic embarqué, nouveaux moyens de propulsion, comme les piles à combustibles,…). Les problèmes de volume, de poids, de compatibilité (notamment électromagnétique) entre tous ces instruments ou composants des véhicules constituent des obstacles au développement de nouveaux véhicules, et surtout à leur développement en série.

Infrastructures terrestres, maritimes ou aériennes : les espaces routiers, aériens ou encore maritimes connaissent un encombrement croissant. L'augmentation des volumes de marchandises échangés dans le monde, l'accroissement des déplacements des individus, exigent aujourd'hui une gestion de plus en plus fine et précise de l'espace (on pourrait dire également du temps – c'est-à-dire des créneaux horaires). Les infrastructures (routes, aéroports, ports) fonctionnent déjà pour certaines comme des réceptacles d'une information qui servira à mieux gérer la circulation, et éviter les accidents ou encombrements. Par ailleurs, des enjeux environnementaux non négligeables sont à considérer : l'encombrement des infrastructures a des effets secondaires négatifs importants en termes de pollution de l'environnement. Les enjeux logistiques relatifs à une utilisation optimale des infrastructures sont par conséquent non négligeables. Parmi les solutions envisagées, l'intermodalité (ou le transfert d'une cargaison d'une structure de transport à une autre durant le transport) rencontre par exemple des difficultés majeures : les ruptures de charge sont encore loin d'être maîtrisées. Le rêve de faire passer un container d'un bateau à un train, puis à un camion, n'est pas encore réalisé. L'optimisation de l'utilisation des différentes structures disponibles reste cependant une solution véritable du désencombrement de certaines infrastructures (on pensera aux tunnels transfrontaliers par exemple).

La liaison véhicule – infrastructure : la multiplication des communications « intelligentes » et des liens entre les véhicules et les infrastructures qu'ils utilisent, ainsi que des sources d'information diverses (telles que les conditions météorologiques ou de pollution de l'environnement) est un enjeu majeur des années à venir. C'est la gestion de l'espace des fréquences disponibles qui est ici en cause. Ainsi pourra-t-on optimiser les conditions de circulation et l'utilisation des infrastructures (routes alternatives, adaptation de la vitesse aux conditions externes), localiser un véhicule en panne, ou chacun des camions d'une flotte,… Dans une certaine mesure, les transports aérien et maritime obéissent déjà à ces principes.

Répondre à une demande croissante

Une mobilité des personnes accrue

L'accroissement de la mobilité des personnes est un phénomène marquant. Cette mobilité présente aujourd'hui plusieurs facettes et résulte de différents comportements :

- *Mobilité due au développement du temps libre*
  Les sociétés évoluent vers une conception des places respectives du travail et du temps libre plus intégrée et équilibrée : il s'agit aujourd'hui de savoir profiter d'un temps libre en croissance, de par le développement du travail à temps partiel, des populations vieillissantes dans les pays occidentaux, de nouvelles réglementations du temps de travail, mais également et surtout, de par la flexibilité grandissante de l'organisation du travail qui est ainsi plus facilement intégrée dans les habitudes de vies. L'organisation de voyages et la participation à de multiples activités, impliquant éventuellement des déplacements spécifiques, vont donc faire fortement évoluer les domaines du transport en tous genres et des communications qui s'y rattachent.

- *Mobilité due au besoin de reliance*
  Conséquence directe du premier point, le « consommateur-entrepreneur » privilégie la relation sociale via la communication et la mobilité (besoin de reliance). Il a donc massivement recours aux nouveaux modes de communication qui le relient au monde qui l'entoure. « L'autonomie reliée » qu'entraînent des instruments comme le téléphone portable ou l'ordinateur permet une plus grande mobilité. Les moyens de transport, et les moyens de communication correspondants, sont donc appelés à faire face à une évolution importante au regard des nouvelles exigences des clients, notamment en termes de services attendus, depuis la réservation de billets de transports à l'information dispensée au voyageur sur ses conditions de transport.

Le confort et la sécurité

Le confort et la sécurité sont devenus des préoccupations majeures des consommateurs aujourd'hui.

Leurs exigences illustrent en fait :

des valeurs familiales affirmées: la demande privilégie donc l'espace, la fonctionnalité et l'habitabilité des véhicules routiers par exemple, la possibilité d'une « vie à bord » en somme,
la recherche de sécurité et de fiabilité des véhicules,
la recherche de souplesse, flexibilité et rapidité au niveau des services offerts.

Les réponses technologiques à de telles exigences passent entre autres par :

le développement de véhicules fiables, automatisés au maximum, conçus non seulement pour assurer la sécurité des passagers, mais également par rapport à l'environnement dans lequel ces véhicules évoluent. Ces « véhicules intelligents » font l'objet de différents travaux de développement, et la diversité des options technologiques qui se présentent laisse présager des innovations dont certaines pourraient être majeures pour tous les moyens de transport (routier, aérien, ferroviaire) ;
la billetterie et la monétique sont également des domaines qui évoluent fortement, pour pouvoir offrir aux consommateurs de meilleures conditions de préparation au transport, avant même le départ. Internet et la « net économie » sont des voies de développement très prometteuses.

Des échanges de marchandises accrus

L'augmentation de la demande des marchés conduit nécessairement à la multiplication des échanges de marchandises. Non seulement les volumes transportés augmentent, mais les types de produits transportés se diversifient. Ainsi typiquement, le développement du commerce électronique va conduire à la croissance des livraisons à domicile, de marchandises très diverses. En effet, théoriquement un particulier pourra tout commander sur Internet. D'un point de vue logistique, cela représente un véritable défi pour les transporteurs et la messagerie, contraints de s'adapter à une demande versatile, volatile, exigeante en termes de qualité et de ponctualité des livraisons.

Le respect de l'environnement

L'environnement reste également une préoccupation des consommateurs / voyageurs et des milieux industriels et du transport. La réponse aux exigences des réglementations de plus en plus importantes à travers le monde se traduit en trois enjeux pour le domaine du transport :

la maîtrise de l'énergie : production d'énergie moins polluante (moteurs propres, optimisation des consommations de carburants, énergies alternatives, piles à combustible), mais également stockage de l'énergie (véhicules électriques) ;

la recyclabilité des matériaux : le cycle de vie des produits doit être pris en compte dès le stade de la conception de ces produits. L'emploi de nouveaux matériaux recyclables dans la conception de véhicules, avions, bateaux ne doit cependant pas se faire au détriment de la sécurité et du confort ;

la réduction des bruits, dans le véhicule et du fait de l'interaction véhicule / infrastructures, reste un domaine de recherche important.

Adapter les structures organisationnelles

L'évolution des exigences des consommateurs, des technologies, des réglementations, amène toutes les entreprises à repenser les modes de conception et de production des produits, mais surtout à faire porter un effort important sur la recherche et le développement de nouvelles techniques. Les enjeux qui se présentent dans le domaine Transport Aéronautique sont énormes, de par une intégration croissante des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication, certes dans la conception des véhicules, satellites, avions,… mais également dans la gestion des flux de marchandises et de personnes.

La maîtrise de la communication et de l'information

Les technologies de l'information et de la communication sont parties prenantes des développements réalisés dans le domaine Transport Aéronautique :

les satellites ont un rôle prépondérant dans le développement des communications à terre. Le GPS (Global Positioning System), ou la téléphonie sont deux exemples qui illustrent clairement l'avenir de ces technologies dans l'espace. Il reste aujourd'hui à optimiser l'utilisation des satellites (la miniaturisation des instruments embarqués et la compatibilité magnétique sont des enjeux importants dans cette perspective) ;

les instruments au sol doivent également pouvoir couvrir des besoins aussi variés que l'information au conducteur / pilote sur son temps de parcours, la détection de pannes ou d'obstacles,…, en respectant des exigences de fiabilité de l'information et de rapidité de diffusion. La qualité de réception et le tri de l'information sont donc primordiaux pour assurer une liaison efficace entre un véhicule et l'infrastructure qui l'entoure.

Ces quelques exemples illustrent la nécessité pour les entreprises du domaine d'intégrer les nouvelles technologies dans leurs processus de production.

Vers de nouvelles organisations industrielles

L'explosion de la communication, la multiplication des accès à l'information, le foisonnement des usages associés aux informations disponibles, et l'évolution rapide des moyens technologiques permettant la diffusion des informations ont un impact très fort sur les entreprises en termes de :

Réactivité aux demandes du marché : les producteurs de véhicules particuliers, les équipementiers (ferroviaires et aériens par exemple), et à une autre échelle les fournisseurs intermédiaires de moyens de transport (billetterie, réservations de voitures,...) sont confrontés aujourd'hui à des consommateurs avertis, dont les exigences reflètent, non seulement des valeurs, mais également des phénomènes de mode, ou des tendances. Ces changements touchent évidemment également les entreprises qui produisent les moyens de transport (véhicules routiers, ferroviaires, avions, bateaux,…) : elles font également face aux exigences d'adaptation et de réactivité face à la demande des marchés. Pour répondre à ces exigences de marché, ce sont également de nouvelles organisations logistiques qui doivent se mettre en place, également placées sous le sceau de la réactivité, mais également de la traçabilité des produits, et de la qualité.

Innovation : les fortes évolutions technologiques en cours (Nouvelles Technologies de l'Information et la Communication, nouveaux véhicules, nouveaux moteurs, nouveaux matériaux) incitent les industriels à innover, afin de pouvoir intégrer ces technologies, tout en assurant des taux de rentabilité acceptables. De gros programmes de développement sont ainsi en cours dans le domaine Transport Aéronautique sur les véhicules hybrides, les gros porteurs aériens ou les satellites, pour ne citer que les plus médiatisés.

Rationalisation de la production dans un environnement technologique évolutif : dans cette perspective, un constructeur automobile par exemple est tenu, non seulement de répondre à une demande, mais surtout de respecter un délai raccourci (il sort tous les ans un nouveau modèle chez la plupart des constructeurs) : cela implique des délais de conception, test, production sans cesse réduits, et une remise à plat de tous les processus de production, tout en restant compétitif. Une difficulté de cet exercice est liée à la spécificité de certains des domaines considérés : en effet, la durée de vie d'un avion se situe autour d'une vingtaine d'années. Tout le problème est donc pour les avionneurs, en même temps qu'ils évoluent et innovent, d'assurer la pérennité des produits déjà lancés, et donc l'existence de pièces de rechanges, et du savoir-faire autour des technologies mises en œuvre dans le passé. Le corollaire de ces exigences techniques réside bien évidemment dans le fait que les produits des années à venir (véhicules, composants, outils d'information,…) ne seront viables d'un point de vue industriel que si leur production est rentable. Par exemple, la production de satellites en série est envisagée à terme, dans des conditions qui ne sont aujourd'hui pas encore déterminées.

Les enjeux technologiques

Le contexte ainsi présenté permet de dégager des enjeux majeurs pour l'ensemble des industries du Transport Aéronautique.

Les enjeux sur l'énergie et la propulsion

Les pressions réglementaires et environnementales d'une part, et les avancées technologiques d'autre part conduisent naturellement les industriels et les chercheurs à explorer de nouvelles pistes

d'amélioration des performances énergétiques d'ensemble des véhicules. *[Amélioration des performances énergétiques d'ensemble]*

Stockage de l'énergie : différentes options technologiques sont en concurrence pour résoudre les problèmes de stockage d'énergie. En particulier, le stockage de l'énergie électrique connaît un certain nombre de développements, via les véhicules hybrides, les véhicules électriques, les piles à combustible,…Il est impossible aujourd'hui de privilégier une solution technologique plutôt qu'une autre, surtout dans la perspective d'une mise sur le marché, et donc d'une viabilité économique. Le débat est en effet encore ouvert sur la question de l'avenir des véhicules électriques et hybrides. De la même façon, la pile à combustible pourrait s'avérer très attractive, mais son avenir économique dépend en grande partie de la filière choisie pour la production du combustible (l'hydrogène) nécessaire (thermique vs hydraulique). Les problèmes techniques à résoudre restent communs à toutes ces technologies : les enjeux de miniaturisation (batteries embarquées sur véhicule), de réduction de masse, de sécurité, de durabilité, d'autonomie et enfin de restitution de l'énergie restent essentiels. De plus, l'accès aux marchés exigent des niveaux de rentabilité qu'elles n'ont pas à l'heure actuelle. *[Pile à combustible]*

Propulsion – émissions : au niveau de la propulsion des véhicules terrestres, maritimes et aériens, outre le développement de l'utilisation de nouvelles énergies (électrique,…), l'évolution des moteurs est permanente. Les moteurs thermiques continuent à faire l'objet d'améliorations, que ce soit au niveau de l'optimisation du rendement moteur, ou sous des aspects plus environnementaux (maîtrise du bruit, traitement des gaz produits). L'enjeu majeur dans cette perspective est finalement d'obtenir un bon compromis entre la performance du moteur et les émissions, via une intégration des cycles de consommation des véhicules qui prenne en compte l'utilisation réelle de tous les équipements (y compris de confort – climatisation par exemple). L'utilisation de carburants alternatifs est une solution également envisagée, avec les adaptations moteurs qu'elle exige. Les propulsions anaérobie (sous-marins) et satellite font également l'objet de recherches importantes, avec des contraintes de fonctionnement fortes. *[Moteurs thermiques]*

Les matériaux correspondants : les développements évoqués ci-dessus ont un impact considérable sur les matériaux. Depuis le stockage de l'hydrogène d'une pile à combustible, à l'allègement des véhicules tout en préservant le niveau de sécurité offert, des composites sont développés pour répondre à de nouvelles spécifications. *[Elaboration de composites à matrice organique]*

L'interface homme-machine

Les progrès des technologies de télécommunication, les tendances de marché vers une offre de services très large à bord des véhicules (réservation de restaurant, possibilité de communication avec l'extérieur) ainsi que les diverses fonctionnalités qui sont développées pour tous les moyens de transport (conduite assistée, sécurité, orientation,…) fournissent à ces véhicules une capacité d'intelligence et de communication inconnue jusqu'alors, avec des perspectives de développements très variées. *[Véhicules intelligents et communicants]* Cette évolution a un impact direct sur la relation de l'homme à son véhicule (au sens large, il peut s'agir d'un avion, d'un bateau,…). Il faut en effet pouvoir fournir à l'individu la possibilité de contrôler l'ensemble de ces paramètres, sans pour autant mettre en danger le pilotage de son véhicule. L'homme n'a accès à ces diverses fonctions qui lui sont offertes que par des interfaces : concrètement, dans une voiture, un tableau de bord, un écran de visualisation, des hauts parleurs, un micro. La hiérarchisation des fonctions et l'organisation des interfaces, donnent lieu à une ergonomie spécifique, qui évolue très rapidement en fait, de par les avancées permanentes des technologies pour lesquelles elle est conçue. *[Ergonomie de l'interface homme-machine]*.

L’électrique-électronique

Quasiment toutes les technologies évoquées plus haut connaissent un point technologique critique : l’électrique-électronique.

Dans des environnements de plus en plus automatisés, « intelligents », l’ordonnancement des composants est un enjeu majeur. La compatibilité électromagnétique *[Compatibilité électromagnétique]*, les architectures électriques *[Architecture électrique]* et électroniques *[Architecture électronique]* conditionnent totalement le bon fonctionnement des capteurs et systèmes intelligents, qui joueront un rôle croissant dans le bon fonctionnement des appareils embarqués dans les véhicules, avions, trains, bateaux et satellites. *[Capteurs intelligents]* L’enjeu technologique est clair : les composants et systèmes doivent pouvoir résister à des agressions de l’environnement dans lequel ils sont intégrés (pression, chaleur, chocs,…). La sûreté de fonctionnement est donc une priorité dans la conception des systèmes. Par-delà la notion de fiabilité des systèmes, leur habilité à détecter les dysfonctionnements de leur environnement et savoir les gérer fait l’objet de développements technologiques (avec le fonctionnement en mode dégradé). *[Sûreté des systèmes (embarqué et infrastructure)]*

II.7 - Biens et services de consommation

Résumé

L'ère de la consommation représentée par un produit pour tous est progressivement remplacée par l'ère de l'achat personnalisé et du « sur mesure ». Les techniques de marketing permettant la gestion personnalisée de la relation client deviennent un enjeu majeur pour les entreprises. Cette gestion s'appuie sur le maniement de base de données complexes qui demandent des outils de tri et de structuration de l'information, toujours plus performants. Le développement rapide de la Société de l'Information impose aux entreprises de revoir leurs techniques de marketing et de proposer des objets nomades qui assure aux clients sécurité, portabilité et autonomie. Dans le même temps, l'individu exige de « savoir » et d'être rassuré dans sa consommation à travers la traçabilité des produits, en particulier dans l'agroalimentaire, mais aussi à travers des critères liés à la santé, à l'environnement ou au social. Enfin, si l'individu est prêt à accepter les innovations technologiques, celles-ci doivent lui simplifier la vie, à travers des produits multifonctionnels et simple d'utilisation ou encore à travers la mise en réseau de produits et de services.

Introduction : le contexte

Le domaine des biens et services de consommations est un domaine hétérogène qui a la particularité d'être en prise directe avec les exigences des ménages et du consommateur individuel. Ces exigences, loin d'être basées sur une seule logique rationnelle, relèvent tout autant d'une évolution collective des modes de vie que de besoins subjectifs ressentis par chaque individu.

Plusieurs phénomènes importants ont modifié, ces dernières années, ses comportements habituels :

L'accès à une information instantanée à l'échelle de la planète développe un environnement mental auquel il ne peut échapper longtemps et qui influe sur son imaginaire comme sur ses désirs ;

L'individualisation croissante des modes de vie affaiblit progressivement les liens familiaux et sociaux qui formaient des cadres de référence rassurants appuyés sur des systèmes de valeurs consacrés par l'habitude et la tradition ;

L'accroissement de la mobilité contribue à déstructurer ce cadre de référence en diminuant le sentiment d'appartenance à une communauté stable ou à un espace géographique précis ;

A ce type d'instabilité s'ajoute l'instabilité professionnelle car aujourd'hui, personne ne peut prévoir de faire toute une carrière au sein de la même entreprise. Sous l'aiguillon de la flexibilité, l'individu s'adapte et évolue rapidement.

Face à l'instabilité de son environnement, l'individu éprouve le besoin d'être relié à sa « tribu ». Il est en recherche d'identité, de stabilité voire même de sécurité, à travers de nouveaux modèles et une exigence croissante de qualité de vie liée à des critères écologiques et sociaux mais aussi à une volonté de bien-être.

Les nouvelles exigences de l'individu, associées à l'accroissement de l'offre proposée par les entreprises, entraînent un éclatement des besoins. Chaque individu devient plus regardant quant à l'offre de produits proposée, obligeant ainsi les entreprises à développer une relation individuelle avec ses clients.

Cette relation individuelle va jusqu'à l'offre de produit « sur mesure » demandée par un client qui passe de la consommation de masse (un produit pour tous) à un achat personnalisé : un produit pour une personne à travers l'assemblage de sous-produits.

Enfin, la montée en puissance de la société de l'information (représentée par la croissance du taux d'équipement des ménages en matière de téléphonie mobile, de PC ou plus modestement d'accès à Internet), permet d'accentuer ce phénomène de personnalisation et de sur mesure, en facilitant la gestion de la relation client à travers de nouvelles techniques de marketing *[Outils de personnalisation de la relation client] [Méthodes de marketing liées à l'utilisation des TIC]*. La manipulation par les entreprises de bases de données complexes pose cependant certains problèmes d'éthique. Au-delà, les Technologies de l'Information font apparaître une nouvelle offre de produits basée sur l'interactivité (produits à base de réalité virtuelle) ou encore sur la santé.

Le domaine des biens et services de consommation recouvre un vaste champ d'offre : logement, produits alimentaires, véhicules automobiles, produits informatiques, multimédia, produits du spectacle, textiles,… Au regard de l'ampleur du sujet, le groupe de travail a choisi de focaliser sa réflexion sur des technologies importantes pour le développement des liens avec le consommateur dans une optique marketing (les infrastructures nécessaires à l'utilisation de ces technologies ont été laissées à d'autres domaines traités ailleurs dans ce rapport).
Notons toutefois que la perspective adoptée ici est celle des marchés des pays développés et que la question de technologies adaptées aux produits et services de consommation de pays en voie de développement pourrait également être abordée.

Les enjeux non technologiques liés à la demande sociale

L'analyse de la demande sociale confirme et amplifie quatre tendances principales identifiées lors du dernier exercice de prospectives Technologies Clés 2000 et revisitées en détail ici dans le chapitre I.2 consacré aux grandes tendances de la demande :

la personnalisation de la consommation,
ses produits multifonctionnels et simples d'utilisation,
le village planétaire,
un sentiment de sécurité.

Ces lignes de force ont naturellement un impact important sur les modes de production industrielle.

La personnalisation de la consommation

L'individualisation du rapport du consommateur au produit consommé est une tendance forte née au début de siècle. Elle signale le passage de l'individu à la personne. Elle marque le désir du consommateur de consommer des produits répondant à ses propres valeurs, à son histoire personnelle : le client est « unique ». Ainsi, l'offre de produits se segmente de plus en plus finement pour répondre aux exigences de chaque client.
Deux segments de consommateurs sont particulièrement représentatifs de cette volonté de personnaliser l'approche client : les seniors qui représentent un marché en forte croissance pour les prochaines années, tant en France que dans les autres pays européens, et la clientèle féminine qui a permis aux industriels d'élargir leurs gammes de produits traditionnellement destinées aux hommes (par exemple pour le bricolage, les véhicules automobiles,..).

Si le client est « unique », il attend donc un produit « sur mesure » qu'il peut lui-même concevoir selon ses goûts et ses besoins. Ainsi, l'interactivité déjà présente dans des loisirs, à travers les jeux vidéos, s'étend à l'ensemble des produits de consommation comme les articles de sport, les arts de la table, les voyages. Le développement du sur-mesure implique plusieurs contraintes pour l'offreur :

maîtriser les techniques d'analyse des besoins et des comportements des consommateurs,
proposer à un coût bas des produits ou services sur mesure tout en les intégrant dans des circuits de grande consommation,
maîtriser la flexibilité et donc se baser sur une organisation souple, mais surtout créative, qui implique de revoir de nombreux modes de production. A cet égard, les nouvelles technologies constituent une formidable aide au développement du sur-mesure en permettant par exemple d'effectuer des simulations sur ordinateur pour différents produits.

L'offre de produits « sur mesure » tend à s'organiser autour de services associés : les « bouquets de services ». La personne ne consomme plus un produit donné mais un ensemble de produits et de services personnalisés, répondant à un besoin complexe ou précis.
Cette évolution s'observe par exemple dans le domaine du tourisme où les tours-opérateurs proposent un ensemble de services (transport, hébergement, animation) leur permettant d'offrir des voyages personnalisés conçus en partenariat avec le client. De même l'industrie automobile ne se limite pas à vendre des voitures, mais propose des services associés tels que la maintenance, les assurances, le crédit,…

Des produits multifonctionnels et simples d'utilisation

Faisant suite à la crise économique des années 90, le consommateur a appris à être exigeant et à développer de véritables stratégies de consommation pour acheter « au meilleur prix » favorisant ainsi le développement des enseignes de hard discount ou les soldes saisonnières.
En parallèle à la notion de personnalisation, l'individu s'est repositionné au centre de la société. Il accepte les innovations technologiques (une acceptation qui diffère selon les générations et catégories de population) à condition qu'elles lui apportent une amélioration réelle et sensible de sa qualité de vie : gain de temps, simplicité, lutte contre les nuisances sonores,....
Cette recherche se traduit par des exigences parfois contradictoires comme la volonté de disposer de produits multifonctionnels mais simples d'utilisation : des produits audio-visuels, des matériels sportifs ou de bricolage de niveau professionnel (technologiquement irréprochables) mais utilisables sans apprentissage ou encore des vêtements qui habillent et qui massent, les produits de beauté qui embellissent le teint tout en protégeant la peau,...

Les Technologies de l'Information vont accentuer ce phénomène en proposant la mise en réseau de produits de grande consommation qui permettront aux produits d'agir pour améliorer la qualité de vie des individus (maison intelligente, réseaux médicaux, diagnostic à distance,…).

Le village planétaire

La possibilité d'assister en direct aux évènements planétaires élargit considérablement la perception de l'individu sur sa sphère d'intervention. Extrêmement mobile, il ne ressent plus comme une impérieuse nécessité le besoin d'être physiquement rattaché à un groupe humain ou à un espace géographique.
Plus autonome, plus responsable, mais aussi plus fragilisé par les nouveaux modes d'organisation du travail, l'individu ressent le besoin d'être constamment « relié » à sa « tribu » personnelle ou professionnelle à travers des modes de communication performants, mais aussi à travers des modes de transport sûrs et rapides.
Les innovations technologiques dans les télécommunications ont entraîné l'apparition de nouveaux produits et services dont les consommateurs se sont rapidement emparés (le téléphone portable, le micro-ordinateur,..). Cette exigence d'être à même de communiquer à tout instant impose à l'industrie de satisfaire un certain nombre d'impératifs comme la qualité et la rapidité des communications, la sécurité et la confidentialité ou encore l'autonomie et la portabilité, en particulier pour les produits nomades.

Un besoin de sécurité

La diminution des repères traditionnels du cadre de vie, ainsi que l'accroissement de la mobilité et de la flexibilité professionnelle ont façonné un environnement plus instable pour l'individu qui éprouve la nécessité de se rassurer.
Trois enjeux peuvent être soulignés plus particulièrement :

L'accès à une information immédiate, scientifiquement détaillée et vulgarisée permet aux consommateurs de mieux analyser les risques et les dangers liés à certains modes de production et à leur impact social et de mesurer l'effet de certains produits sur la santé et l'environnement. Les crises alimentaires (la vache folle, la crise de la dioxine, la listériose,..) ou encore les problèmes de l'amiante ont entretenu ce besoin de sécurité, à travers la traçabilité des produits. Les catastrophes environnementales comme Tchernobyl ou les marées noires, associées à un durcissement de la législation et à des groupes d'opinion actifs, ont réveillé les consciences sur le nécessaire équilibre entre développement économique et protection de l'environnement. Il en résulte le concept de développement durable qui recouvre en particulier toutes les problématiques industrielles du

recyclage des produits en fin de vie, de la gestion des déchets, de la gestion de l'eau et de l'air, de l'utilisation de l'énergie,… Ces problématiques sont devenues de fait une préoccupation majeure des industriels. Une première réponse a été le retour des produits naturels et le développement de produits recyclables tels que les éco-recharges et les produits "deux en un". Ils permettent une économie de temps et de prix pour le consommateur en proposant une double fonction et économisent pour les entreprises de l'emballage et de la manutention. Ces produits se sont développés dans le domaine alimentaire et le domaine des produits ménagers.

Une vision plus globale du progrès qui dépasse largement les seules notions technologiques. Il s'agit de la recherche d'un équilibre de vie à travers le respect de la nature et le respect de son corps. Plusieurs secteurs industriels proposent déjà des produits qui répondent à ce souci d'équilibre (les produits bio, les thalassothérapies,…). Cette préoccupation fait entrer dans les foyers des produits industriels jusque-là réservés au monde médical comme les outils de monitoring santé (analyse de sang, de rythme cardiaque, de taux de cholestérol), dont les résultats sont ensuite utilisés par le personnel médical. Au-delà de la télé-médecine, le développement des systèmes d'information ouvre également la porte à une autre relation praticien / patient dans laquelle celui-ci, mieux informé, fournit l'information médicale à son médecin, à charge pour ce dernier de valider le traitement ou de l'adapter. C'est la santé au quotidien.

Enfin, à cet équilibre de vie, vient s'ajouter **la volonté d'un développement socialement plus acceptable**. Le consommateur est prêt à payer un produit plus cher s'il garantit les droits « sociaux » des populations (des « audits sociaux » sont déjà réalisés par des groupes comme Carrefour, Go Sport,…). Les chartes éthiques affichées par certains grands groupes textiles sont ainsi utilisées comme des arguments de vente.

Les enjeux technologiques

Les enjeux liés à la demande sociale que nous venons de recenser permettent d'identifier un certain nombre d'enjeux technologiques à relever par les industriels s'ils veulent répondre aux principales attentes des consommateurs.

Les technologies favorisant la personnalisation de la relation client

L'individualisation de la consommation et la personnalisation des produits obligent les industriels à développer des techniques de plus en plus fines d'analyse des besoins et des comportements des consommateurs, y compris sur le lieu de vente. L'objectif est d'enclencher une dynamique de fidélisation. Il s'agit donc de développer des modèles prédictifs et explicatifs du comportement, ainsi que des modèles d'analyse de risques (mathématique du risque et du comportement) et des habitudes de consommation, afin de définir des profils d'individus ou d'entreprises *[Outils de personnalisation de la relation client]*.

L'objectif est de dépasser la seule analyse statistique des données en tâchant de prendre en compte la psychologie du client grâce au développement de technologies liées à :

- l'analyse de circulation du consommateur / de l'usager (magasins, lieux publics,...),
- la biométrie,
- le portefeuille électronique,
- l'exploitation des données,
- les technologies d'analyse des besoins du comportement et des habitudes de consommation et les procédés d'identification.

Les technologies de process doivent également être prises en compte avec des implications en matière de composants, d'organisation des ateliers, des flux logistiques, des étiquettes intelligentes, de

l'ingénierie concourante,… Ces questions sont abordées dans le chapitre relatif aux technologies et méthodes de conception, production, gestion.
Enfin la métrologie sensorielle, qui permet de mesurer la perception des consommateurs, reste un enjeu fort comme outil de technique marketing car elle ouvre la voie à un design dépassant le seul registre visuel pour s'étendre aux autres dimensions sensorielles : design sonore, design olfactif, design du toucher (claquement d'une portière, le goût d'un rouge à lèvre, le toucher d'une poignée de porte,…) *[Design sensoriel y compris la métrologie sensorielle]*. Il s'agit de corréler ces sensations avec des propriétés physiques mesurables sur le produit fini, en cours de fabrication ou à la conception. Cela permet dès la conception d'adapter les caractéristiques sensorielles des produits aux goûts des consommateurs et de contrôler la qualité des produits fabriqués.

Le traitement de l'information

Un des enjeux marketing de ces prochaines années sera le développement de la relation « one to one » ou encore la personnalisation de la relation client. Cet enjeu implique pour les entreprises de constituer des bases de données de plus en plus complexes et de disposer des outils nécessaires à leur maniement. L'exploitation marketing de l'information par les industriels passe donc par une rapidité et une simplicité de traitement qui nécessite une portabilité des applications, ainsi que des débits suffisants. Cet enjeu fait appel à des technologies de tri, de structuration et de synthèse de l'information.
Au-delà du simple traitement de l'information, les enjeux technologiques liés à la recherche d'information à travers les capteurs et les agents intelligents sont essentiels pour acquérir des outils d'aides à la décision et à la gestion des risques *[Agents intelligents]*. Véritables assistants automatiques, les agents intelligents sont utilisés par exemple dans la recherche documentaire, la veille technologique ou la programmation d'appareils ménagers. Ils peuvent servir « d'alerte » pour des programmes informatiques, des marchés financiers, des équipements industriels, mais aussi dans le cadre de la gestion de fichiers clients. Ces opérations sont possibles grâce à l'intégration d'un système de conditionnement du signal, d'un organe de calcul interne et d'une interface de communication avec d'autres éléments.

La sécurisation des informations

Le besoin de sécurité des consommateurs implique pour les industriels la capacité de présenter des informations et des produits sécurisés. Deux types d'informations sécurisées peuvent être soulignés :

Une sécurisation qui passe par la traçabilité des produits, en particulier à travers les étiquettes intelligentes. Cette traçabilité s'appuie sur des technologies comportant les étiquettes intelligentes, véritables puces ou cartes électroniques qui permettent une lecture et un traitement de l'information à distance *[Objets communicants autonomes]***.** Créées pour répondre à un besoin de traçabilité en matière de production et de service après ventes, les applications des étiquettes ou identifiants intelligents se développent dans le domaine des biens et services de consommations (forfaits de ski, télépéage, billet d'avion ou de train,…). Les ventes de composants électroniques dans le monde devraient atteindre en 2002 plus de 640 millions d'unités contre 1,4 millions en 1998. Ces identifiants intelligents sont liés aux technologies de fabrication des étiquettes qui doivent prendre en compte les problèmes de durabilité ou de compatibilité avec les fonctions du produit. Les technologies mises en œuvre doivent également permettre l'activation et la désactivation de ces étiquettes.

Une sécurité liée à la transmission des informations en particulier sur Internet. La sécurité des moyens de paiements reste pour de nombreux clients un frein majeur au développement du commerce en ligne (plus de 5 millions de français étaient connectés à Internet au premier semestre 1999). La sécurité des informations fait appel à des technologies de cryptage des données, d'authentification, ou encore de tiers de confiance. Elle doit prendre en compte les problématiques liées à la confidentialité ou encore au respect des libertés individuelles. S'il s'agit d'un thème

majeur pour le développement du commerce sur Internet, il s'apparente également à une quête sans fin basée sur la complexité croissante des algorithmes.

Les composants : la miniaturisation et l'autonomie

Les enjeux technologiques doivent en effet répondre à l'accroissement de la mobilité des personnes et à la multiplication des objets nomades. En juin 1999, plus de 14 millions de français disposaient d'un téléphone mobile (25 % contre 6 % en 1997) et il s'est vendu près de 2 millions d'ordinateurs en France au premier semestre 1999. Si le développement d'Internet se fait aujourd'hui majoritairement à travers l'ordinateur, l'enjeu technologique est bien plus d'utiliser les objets nomades comme des outils qui permettent d'avoir accès à tout instant à un très grand nombre de services (Internet, télévision, radio,…). Les enjeux technologiques sont la recherche d'une part d'une portabilité (qui passe entre autre par la miniaturisation des composants et l'ergonomie) et d'autre part d'une grande autonomie (liée aux batteries en particulier ou aux cartes mémoire flash).

Les méthodes de marketing liées au développement des Technologies de l'Information

Comme il a été souligné auparavant, les Technologies de l'Information sont des supports incontournables pour la gestion d'une relation personnalisée avec le client *[Méthodes de marketing liées à l'utilisation des TIC]*.. Elles peuvent remettre en cause les business modèles d'une entreprise en lui donnant directement accès aux consommateurs ou en l'obligeant à faire évoluer son cœur de métier. Les techniques de marketing doivent donc s'adapter à ces nouveaux modes de consommation, aujourd'hui tirées par le développement du commerce électronique (plus de 40 millions d'internaute en France dans 6 ans, contre 15 millions aujourd'hui). Les techniques de marketing doivent en particulier répondre à des enjeux de visibilité de l'offre proposée (entre autres à travers des logiques de portails, de communauté virtuelle, de publicité sur Internet,..) ou encore de fixation des prix dans un univers où le consommateur a accès à des études comparatives instantanées (la publicité sur Internet représente 3 % du marché publicitaire, mais le basculement de l'écrit traditionnel (journaux) vers le média Internet devrait permettre un fort développement). Ces techniques de marketing font appels à des technologies comme le marketing du virtuel et le marketing instantané ou encore aux technologies de compression qui permettront l'amélioration des débits, autre frein au développement du commerce électronique.

Les nouveaux produits

Les enjeux liés à la demande sociale, le développement des Technologies de la Communication et l'innovation liée aux matériaux permettent de proposer de nouveaux produits liés à :

la santé pour mettre à la disposition des individus une panoplie d'instruments de mesure de leur état de santé, directement intégrés à leur habitation et qui communiquent avec leur médecin en vue d'un diagnostic *[Outils de santé à la disposition des consommateurs]*. Ces instruments de mesure font appel à des technologies liées aux capteurs intelligents, au maniement des bases de données et à la sécurité des informations.

des **produits multimédias de plus en plus interactifs**, avec l'accroissement des produits et services de grande consommation à base de réalité virtuelle qui représentent un marché très important en matière de jeux vidéo, de formation et de voyage, mais aussi avec des utilisations potentielles dans tous les domaines industriels, voire même dans la construction,… Les produits à base de réalité virtuelle font appel à des systèmes de visualisation non contraignants qui reste un des enjeux technologiques majeur (lunettes 3D et équipements sensoriels) avec la programmation.

des **matériaux multiformes et multifonctionnels** qui offre plusieurs fonctions pour un même produit. Cette multi-fonctionnalité fait appel à des technologies liées aux revêtements de surface à propriétés multiples, aux matériaux à mémoire de forme, en particulier dans le domaine des fibres textiles (textiles bio actifs anti-bactériens, textiles climatiques qui bloquent les UV ou agissent en thermorégulateurs,..)

Les interfaces homme/machine

Enfin, si les produits deviennent de plus en plus innovants et technologiquement compliqués, l'un des objectifs principaux des industriels est de rendre la technologie invisible à l'utilisateur. C'est pourquoi les interfaces homme/machine restent un enjeu technologique important pour permettre une prise en main instinctive du produit *[Ergonomie de l'interface homme-machine]*. Il s'agit par contact vocal ou par toucher d'être à même d'utiliser quasi instantanément un nouveau produit ou une nouvelle machine. Cet objectif fait donc appel à des technologies de reconnaissance grâce à des capteurs, qui demande une rapidité et une forte capacité de mémoire et de traitement de l'information, en lien avec la compression des données.

II.8 - Technologies et Méthodes de Conception – Gestion - Production

Résumé

Les phases de conception, production, gestion (au sens après-vente, recyclage ou destruction des produits) sont désormais de plus en plus intégrées. L'adaptation à une demande plus volatile, « personnelle » et exigeante (qui passe par une meilleure compréhension du comportement humain face au produit, mais également au poste de travail) , des réglementations de plus en plus sécuritaires, ainsi que la prise en compte de préoccupations environnementales et sociales de divers ordres, requièrent en effet une interaction et une coordination permanentes de divers métiers et acteurs au sein des entreprises (incluant les partenaires, les prestataires, les fournisseurs et les clients). Ces évolutions se doublent de développements technologiques considérables (notamment dans les domaines de la communication et de la gestion de l'information) et vont tout naturellement amener les entreprises à repenser leurs organisations. Il s'agit de concevoir au plus près de la demande, de produire de façon réactive et de gérer des quantités d'informations croissantes. Ces enjeux mobilisent des technologies dites molles, qui relèvent pour une large part des sciences sociales et de gestion. Mais les besoins et les implications économiques sont considérables.

Le domaine conception – production - gestion couvre l'ensemble des technologies et des méthodes relatives aux processus organisationnels internes ou externes des entreprises. Le champ étudié est donc considérable. Il est également spécifique, au sein du contexte des technologies clés, car il relève de thèmes parfois improprement qualifiés de « mous », souvent relatifs aux sciences sociales ou aux sciences de gestion, et qui ne prennent que rarement la forme d'objets techniques tangibles. C'est en ce sens qu'il s'agit ici au moins autant de méthodes que de technologies, au sens traditionnel et pour tout dire désormais dépassé du terme. Technologies et Sciences de l'ingénieur sont en fait progressivement amenées à incorporer ces dimensions qui, sans être véritablement nouvelles, n'en prennent pas moins une place de plus en plus importante dans les besoins des entreprises. Ces questions traversent la plupart des activités économiques et concernent globalement toutes les industries, à tel point qu'il est difficile de proposer une perspective chiffrée raisonnable des enjeux de marché associés. Les discussions menées avec des experts représentant des métiers et des compétences multiples ont permis d'identifier un ensemble de problématiques importantes pour les entreprises, qui sont développées ici.

Les enjeux dans les domaines de la conception, de la production et de la gestion

On a longtemps considéré que les activités des entreprises pouvaient se découper en séquences différentes, de la conception à l'après-vente. Aujourd'hui, la continuité, voire la concomitance, entre ces séquences apparaît de plus en plus avec des implications très fortes en termes de complexité des processus, des organisations et des outils de support utilisés. Les principaux facteurs explicatifs de cette évolution majeure vers des organisations de plus en plus « intégrées » sont présentés ici.

Mieux concevoir face à une demande plus exigeante, versatile et infidèle

L'analyse de la demande a conclu sur une constatation importante : tout d'abord, le modèle de « consommation de masse » des années 60 aux années 80 laisse désormais la place à une demande beaucoup plus versatile, doublée d'une personnalisation croissante de la consommation (la « mass-customization »). Après 30 années d'économie de l'offre, où le producteur impose ses contraintes, nous sommes depuis le début des années 80 dans une économie de la demande où le client est roi et impose ses conditions. Cet état de fait ne peut avoir qu'un impact fort sur l'organisation des entreprises, les contraignant à des méthodes de production et de gestion bien plus souples, pour une meilleure adaptation à la demande de clients. Il en découle clairement que :

La compréhension de la demande des clients est devenue centrale dans les préoccupations des entreprises : plus on est proche de la demande des clients, mieux on est susceptible de fournir à ces clients les produits et services qu'ils souhaitent, et donc mieux on peut assurer de réussites commerciales. Mais comprendre la demande n'est pas chose aisée, dans la mesure où cette demande est devenue versatile et apparemment très « personnelle ». Aussi le travail à réaliser est-il plus un travail de décryptage de l'ensemble des demandes individuelles possibles, afin d'affiner la notion de « segments de marché » issue du marketing classique, non plus par grandes catégories de personnes, mais par catégories de demandes, pour ainsi fournir des produits qui conviennent à une demande spécifique (ou à un ensemble de demandes spécifiques qui finalement se retrouveront dans cette offre).

La conception doit mieux prendre en compte la dimension humaine : cette évolution de la demande, la « personnalisation » de nombreux produits, et donc leur multiplication ont un corollaire important : la conception de produit demain devra prendre en compte l'homme, en ce qu'il sera non seulement utilisateur final du produit et du service (l'ergonomie prend là tout son sens, avec en particulier les notices d'accompagnement et les manuels d'utilisation qui doivent être soigneusement pensés et détaillés), mais également en tant que « maillon de production » (ainsi les contraintes liées à la fabrication doivent-elles être envisagées vis-à-vis des efforts ou mouvements requis de la part de l'opérateur sur la ligne de production). Les Technologies de l'Information et de la Communication vont également jouer un rôle prépondérant dans cette démarche. De fait, le numérique, le prototypage rapide et les maquettes sont de plus en plus étroitement liés. L'association de l'ensemble des techniques de conception est en évolution et doit permettre à terme de concevoir et, plus encore, fabriquer juste du premier coup, en gérant la diversité des matériaux, des procédés, et des façons de représenter et de proposer un objet ainsi que les services associés.

L'innovation enfin est un déterminant commun à une meilleure prise en compte de la demande, comme à l'intégration de la dimension humaine dans la conception et la production. Le besoin d'innovation émerge comme une priorité, que ce soit au niveau des techniques utilisées pour la conception, comme dans les processus de production et bien sûr dans l'offre elle-même. L'enjeu aujourd'hui pour les entreprises est de gérer et d'accompagner une dynamique de changement permanent qui valorise l'innovation dans l'offre comme dans le fonctionnement des opérations. Après les efforts considérables consentis pour rationaliser et rendre plus efficaces les opérations, l'innovation redevient une priorité. A ce titre, la protection de l'innovation et la propriété industrielle font partie des pratiques à promouvoir pour que l'entreprise s'approprie le fruit de ses activités innovatrices.
Les démarches de veille concurrentielle, et plus largement encore d'intelligence économique, peuvent également contribuer à cette capacité à innover en ce que l'observation des pratiques des concurrents et la surveillance permanente de l'environnement réouvrent les capacités d'apprentissage des acteurs de l'organisation et facilitent l'adhésion du plus grand nombre aux

processus de changement. Ces démarches sont connues mais restent encore à diffuser plus largement.

L'entreprise centrée sur le service : après la révolution industrielle et alors que s'annonce la révolution de la société de l'information et de la nouvelle économie associées à Internet, l'entreprise se voit amenée à progressivement privilégier une approche centrée sur le service. L'avionneur ne vend plus seulement un aéronef mais plutôt des heures de vol sur la durée de vie de l'avion, le fabricant de machines-outils ne vend plus seulement des machines mais doit répondre à des demandes de fabrication de séries de pièces pour le compte de ses clients, la société d'eau minérale doit assurer le réapprovisionnement de fontaines de bureau,… Le service qui répond à la demande générique du client devient l'enjeu principal. Les produits ne sont plus alors que des moyens, des ingrédients au service de cette offre de plus en plus centrée sur le service.

Mieux maîtriser la production

La production est tout naturellement affectée par les nouvelles démarches engagées au niveau de la conception, mais également par un marché qui se mondialise. Il s'en suit une course à l'efficacité, qui se traduit en enjeux technologiques, pour créer une véritable « usine numérique », c'est-à-dire une forme d'outil de production à la fois plus efficace, plus flexible, intégré avec les outils de conception et avec la chaîne logistique, capable d'assurer une nouvelle forme de performance essentielle : la réactivité.

La facilité de mise en œuvre du process est importante *:* la conception de l'appareil de production doit intégrer en amont non seulement les spécifications du process mais aussi la dimension « facilité de mise en œuvre », c'est-à-dire qu'elle doit prendre en compte la dimension humaine ainsi que les impératifs et contraintes de l'automatisation. L'enjeu est que les processus de production soient compréhensibles et logiques pour les personnes qui intègrent l'appareil de production, soit pour y contribuer en tant qu'opérateur, soit pour pallier des dysfonctionnements. Outre un outillage adapté et ergonomique, cela passe en particulier par la mise à disposition de manuels de procédures utilisables et par le recours aux outils de la qualité.

La flexibilité et la rapidité de réaction : dans un contexte d'évolution forte de la demande, il est évident que l'appareil de production doit rester capable de produire en série mais de façon flexible, tout comme il doit pouvoir être utilisé pour des productions en plus petites quantités. Dans ces conditions, la flexibilité et la réactivité constituent un élément clé. La mise en œuvre de machines « intelligentes » est une des réponses possibles face à cette problématique.

La télésurveillance, la télémaintenance : contrôler et commander à distance participent aussi de la maîtrise de la qualité des produits et de l'accroissement de la rapidité de réaction de la chaîne de production. Il s'agit aujourd'hui d'être en mesure, grâce à un système de détection automatique, ou grâce à un contrôle visuel, de détecter les pannes et défaillances en temps réel afin d'y remédier le plus rapidement possible. Pour ce faire, les systèmes d'aide à la décision sont appelés à jouer un rôle important.

Mieux gérer les flux d'information et de produits

Un des problèmes majeurs rencontrés par les entreprises concerne la gestion de leurs flux, flux physiques, comme flux d'information (y compris leur volet informatique). De nombreuses technologies et méthodes ont été développées et d'autres restent à développer ou à améliorer pour optimiser l'organisation des entreprises dans ces domaines.

Gestion des flux logistiques : les flux logistiques ne s'arrêtent plus seulement à l'ensemble des flux de produits ou d'information se rapportant à l'activité entre le moment où un fournisseur approvisionne les composants, les matières premières ou les services nécessaires à la production et le moment où le produit résultant est livré. Les flux logistiques sont désormais bien plus intégrés. Non seulement en amont s'est-on penché sérieusement depuis quelques années sur une meilleure compréhension de l'organisation des fournisseurs de façon à travailler avec eux en partenariat et à les intégrer dans une chaîne de valeur plus longue ; mais également est-on entré dans une logique de distribution et de service après-vente bien plus systématique. Les flux logistiques doivent intégrer les retours ou le recyclage des produits vendus, mais également une notion bien plus large : le soutien logistique intégré, où le suivi d'un produit va jusqu'à sa fin de vie réelle (et non pas seulement jusqu'à sa vente et à son immédiat après-vente). Cette évolution a un impact important sur les calculs de rentabilité d'un produit, tant au niveau de sa conception que pour le suivi de la qualité des produits et services offerts, leur maintenabilité dans la durée et donc la rentabilité d'ensemble. De là découle une très forte exigence de qualité en termes logistiques, mais aussi en termes de conception et de fabrication, avec tous les enjeux associés de traçabilité de produits, de contrôle qualité et de maintenance.

La gestion de l'information : l'information au sein des entreprises est souvent très éparpillée, et forcément très diverse. Son utilisation peut pourtant permettre aux entreprises de mieux maîtriser, à la fois leur fonctionnement interne, mais également leur environnement externe.

- L'intelligence économique : la gestion des informations recueillies sur les clients est capitale puisqu'elle aide à apprécier les tendances de la demande et à concevoir de nouveaux produits répondant le mieux aux attentes du marché. Pour cela, encore une fois, la prise en compte des perceptions humaines est importante, ainsi que leur transcription en information utilisable. Le développement du commerce électronique va ainsi permettre de générer des bases de données personnalisées sur les clients et va nécessiter le développement de méthodes et d'outils de traitement de données adaptés aux nouvelles possibilités rendues accessibles par l'interaction électronique. Avec le marketing qui s'intéresse au marché, le « benchmarking » (qui consiste à comparer les pratiques de différentes entreprises pour repérer les meilleures pratiques et se donner ainsi les moyens de les mettre en œuvre) et la veille concurrentielle (qui consiste à surveiller les concurrents pour cerner leur stratégie et anticiper leurs actions pour se mettre en position pro-active et élaborer par avance des réponses adaptées) constituent autant de volets de l'intelligence économique, qui s'efforce de doter l'entreprise de capacités de lecture et décodage de son environnement.
- Pour gérer l'information que génèrent ces activités de veille, des développements de bases de données actives sont nécessaires. La création, puis la gestion de ces bases de données dans des environnements technologiques évolutifs sont des problématiques technologiques extrêmement importantes, puisqu'elles peuvent avoir un impact non négligeable sur la gestion de l'information et sa répartition entre les acteurs de l'entreprise comme avec ses partenaires. Au-delà des bases de données, les outils de reporting, comme les outils d'aide à la décision (tableaux de bord décisionnels) sont importants.

Capitalisation des connaissances : la notion de capitalisation, qui connaît des dénominations diverses (« knowledge management », gestion des compétences clés,…) regroupe en fait deux problématiques :

- Que capitalise-t-on ? L'information sur laquelle on capitalise s'appellera alors règles métiers, manuels ou processus organisationnels. C'est en fait toute la question du recensement et de la description des compétences clés de l'entreprise qui est posée ici.
- Comment capitalise-t-on ? L'ingénierie de l'information, entre informatique et documentation, permet de réfléchir à des services d'information qui donneront à l'utilisateur la capacité de comprendre les informations qu'il manipule ainsi que les traitements qu'il leur applique. Dans ce cadre, l'ingénierie linguistique peut jouer un rôle, en particulier dans un contexte multilingue.

Vers un management intégré

L'organisation des entreprises va devoir s'adapter aux notions qui viennent d'être évoquées, en y ajoutant une dimension supplémentaire, celle de la réintégration de démarches multiples, souvent mises en œuvre parallèlement : des acteurs différents sont en fait aujourd'hui amenés à travailler tout à la fois à promouvoir la qualité totale, le respect des normes, l'innovation, une gestion efficace des processus, la protection de l'environnement,… Un ensemble de comportements transversaux à l'entreprise est ainsi développé sans qu'il y ait nécessairement coordination ni même concertation entre ces démarches parallèles. Or, l'expérience montre que ces efforts sur des domaines différents participent pourtant d'une même logique et peuvent faire appel à un tronc commun de pratiques. Une réconciliation de ces démarches est susceptible d'émerger pour générer ce que certains reconnaissent déjà comme un « management intégré », c'est-à-dire une gestion coordonnée des connaissances et des pratiques.

Les enjeux technologiques et méthodologiques associés

Trois enjeux majeurs se dégagent lorsqu'il s'agit de décliner les problématiques ainsi évoquées pour les traduire en enjeux technologiques.

Gérer un environnement complexe

Tendre vers une conception de produit dans une perspective de service total au client, en appréhendant mieux la demande *[La représentation de la perception du consommateur]*, en intégrant mieux la dimension humaine à la fois au niveau des utilisateurs finaux, comme à celui des opérateurs qui seront amenés à fabriquer un produit,… tout cela multiplie la complexité de l'environnement de travail des concepteurs. De même, les systèmes de gestion et de production des entreprises (notion de chaîne logistique, capitalisation des connaissances, organisation de la production en fonction de la demande), induisent des problématiques de gestion de données de plus en plus complexes. *[Supply Chain Management]*

Il s'agit en effet de développer la capacité à prendre en compte des paramètres qualitatifs et quantitatifs très variés, correspondant aux besoins d'un environnement multi-acteurs et multi-tâches, dans une logique d'intégration croissante de ces acteurs et activités. Ainsi, dans une logique de Soutien Logistique Intégré, la conception d'un produit doit inclure les notions de coûts, de service après-vente, de cycle de vie du produit, de matière nécessaire, de chaîne de production,… L'intégration de ces données très hétérogènes pose nécessairement des problèmes. *[Soutien Logistique Intégré]*

> **Volume des informations à traiter, et donc à sélectionner, classer, archiver, utiliser** : éternel problème des entreprises, le volume des informations disponibles va croissant avec la taille des bases de données. Les outils d'aide à la créativité *[Outils d'aide à la créativité]*, de capitalisation des connaissances, les systèmes d'aide à la décision, ou de gestion intégrée, évoluent avec le développement de logiciels de plus en plus « intelligents », permettant une utilisation plus efficace de l'information, répondant à des besoins clairement exprimés a priori. La gestion des règles métier donne un bon exemple des difficultés à résoudre *[Formalisation et gestion des règles métiers]*. Ainsi, le travail de formalisation (définition du besoin : sur quoi va-t-on capitaliser, et sous quelle forme), et de gestion des règles (qui s'en occupe, comment évoluent-elles,…) est

considérable, avec un paradoxe à surmonter : la préservation des savoir-faire dans le temps, tout en évitant les risques d'obsolescence d'une partie des données.

Moyens de communication des informations : l'interfaçage des systèmes est le principal verrou au partage des informations. Les données hétérogènes à intégrer sont en effet bien souvent issues de différents types de sources (différents systèmes de gestion, différentes configurations informatiques, différents formats des données). Les réglementations et protocoles informatiques en cours de définition sont un élément de résolution des difficultés techniques. Il reste que la notion de compatibilité entre les systèmes est un enjeu transversal technologique fort.

La restitution des informations : répondre aux exigences de tous revient à être capable de formuler des réponses individualisées pour chacun, tout en restant cohérent. Par exemple, un designer ne demandera pas à avoir la même représentation d'un véhicule que l'ingénieur chargé de la conception de son moteur, et cependant, ils travaillent sur le même produit, et leurs actions doivent être coordonnées ; la multi-représentation d'un même objet, mais sous divers angles pour être utile aux acteurs à qui elle s'adresse est donc un objectif technologique majeur [*La multi-représentation des objets virtuels / qualité de la représentation*]. A fortiori, dans un environnement international et multi-culturel, les barrières à la compréhension mutuelle sont importantes. Outre la représentation d'objets, la simulation des comportements humains est également cruciale, notamment la compréhension des perceptions humaines. *[Simulation, modélisation du comportement humain, (dans le poste de travail, face au produit)]* Par exemple, comment mettre au point des machines qui seront faciles à utiliser par tous, avec des manuels d'utilisation clairs pour toutes les cultures, et un service après-vente pratique pour tous ? Comment appréhender les besoins individuels et en déduire des produits idoines ? Comment assurer une capitalisation des connaissances compréhensible aux futurs utilisateurs de l'information archivée ? L'ingénierie linguistique, les travaux sur la perception des consommateurs sont des technologies qui intègrent cette dimension humaine dans les processus *[Ingénierie linguistique et technologies vocales]*. L'on voit clairement que la prise en compte de points de vue divers implique des réflexions importantes dès l'amont de la conception de produits.

Adapter les outils, pièces et matériaux utilisés

Les exigences de réactivité, de rapidité qui pèsent sur les entreprises (tant dans les domaines de la conception, de la production que de la gestion) ont évidemment un impact direct sur les outils et matériaux utilisés. L'utilisation accentuée des systèmes d'information et le développement des technologies du « virtuel » (systèmes d'information, procédés de numérisation,…) permettent d'envisager aujourd'hui des procédés de conception largement numérisés, des outils de production automatisés, une gestion plus fluide et réactive des entreprises.

Conception : la représentation de plus en plus fiable et complète des objets permet aux concepteurs d'envisager numériquement l'ensemble des propriétés d'un produit. [*Prototypage rapide, Simulation numérique des procédés]*. Le prototypage rapide évolue ainsi vers la création simultanée d'outils et outillages adaptés, très proches de la pré-série, pour certaines industries. La reconnaissance de formes, et la connaissance des matériaux sont des points technologiques critiques importants.

Production : *[Représentation et Gestion des processus de l'usine numérique]* l'impact du virtuel sur les technologies de production est à noter. La numérisation des différents procédés d'une usine est envisagée pour faciliter l'optimisation de l'ensemble des flux de l'usine (ordonnancement des lignes de production, gestion des ordres de production,...). De même, les machines de production dites intelligentes sont capables de gérer leur rythme de production. La télésurveillance des systèmes productifs (surveillance de routine, et diagnostics de dysfonctionnement), et les systèmes décisionnels corrélés (moyens d'action en cas de problèmes) sont directement concernés par les

olutions technologiques à venir dans ce domaine. Les capteurs et les actionneurs sont les éléments essentiels de ce type de mécanisme : l'enjeu porte en particulier sur leur fiabilité et leur capacité de résistance dans des environnements contraignants *[Capteurs intelligents]*.

Faire évoluer les organisations

Finalement, c'est encore une fois dans le domaine des sciences dites molles que de grands changements se profilent le plus, sans qu'il soit encore possible de préciser complètement à quoi ressemblera l'organisation cible dans 10 ans.

Il reste certain que les notions parallèles de management intégré, de Soutien Logistique intégré, de service aux clients *[Outils de la personnalisation de la relation client]*, dans des contextes sociaux, environnementaux, réglementaires de plus en plus exigeants, avec le développement du commerce électronique et des technologies de l'information, vont déclencher la remise en cause d'un certain nombre de façons de travailler. L'ensemble des évolutions technologiques évoquées jusqu'ici contribuent à ce que les organisations se dirigent de plus en plus vers des structures flexibles et réactives, sans barrières à la communication, et donc vers de nouvelles formes d'organisation. *[Systèmes d'organisation et gestion industrielle améliorés]*. Ces démarches ne s'arrêtent pas à la frontière des entreprises, mais s'étendent bien au-delà, dans le cadre de la notion d'entreprise étendue, d'une part en amont aux fournisseurs, d'autre part en aval aux clients, mais aussi latéralement vers les différents partenaires et alliés avec lesquels elles travaillent.

Restent à définir les modalités de réussite de ces évolutions, et notamment à comprendre la place que prend chaque individu dans les processus de changement : une redéfinition des fonctions au sein des entreprises se profile, qui sera amenée à s'appuyer entre autres sur les technologies de communication disponibles. Autant dire que l'enjeu majeur est la rapidité mais surtout la faculté à impliquer les personnels des entreprises dans cette évolution et à assurer la transition entre les organisations d'aujourd'hui et celles que nous prépare le recours aux nouvelles technologies.

III – Présentation des Technologies clés 2005

III.1 – Liste des Technologies clés 2005

- *Comment utiliser les fiches*

III.2 – Fiches de synthèse

- *Technologie de l'Information et Communication*
- *Matériaux – Chimie*
- *Construction – Infrastructure - Habitate*
- *Energie - Environnement*
- *Technologie du Vivant – Santé - Agroalimentaire*
- *Transport – Aéronautique*
- *Biens et services de consommation*
- *Technologie et Méthodes de Conception – Gestion – Production*

III.1 – Liste des Technologies clés 2005

Liste des Technologies Clés 2005

Technologies de l'Information et Communication

1 Microélectronique silicium
2 Microtechnologies - Microsystèmes
3 Microélectronique III V (AsGa, Inp)
4 Capteurs intelligents
5 Mémoires de masse
6 Composants optoélectroniques et photoniques
7 Composants d'interconnexion et d'interface
8 Capteurs de vision ou capteurs d'image
9 Ecrans plats
10 Equipements et matériaux pour salles blanches, robotique
11 Batteries et gestion de la micro - énergie
12 Objets communicants autonomes (Identifiants intelligents, Etiquettes)
13 Assistants digitaux portables
14 Technologies logicielles pour les systèmes temps réel ou contraint
15 Technologies logicielles de la langue et de la parole
16 Infrastructures pour réseaux dorsaux haut débit
17 Technologie de boucle locale
18 Technologies logicielles pour le transport de données
19 Réseau domestique numérique
20 Technologies logicielles pour la sécurité des réseaux
21 Intermédiation et intégration de services pour l'Internet du futur
22 Grands serveurs
23 Transmission temps réel de contenus multimédia
24 Technologies logicielles pour la gestion des données et du contenu
25 Systèmes auteurs pour création de contenu multimédia
26 Technologies logicielles de réalité virtuelle
27 Technologies logicielles de l'informatique distribuée
28 Génie logiciel
29 Technologies de spécification, de conception, de preuve, d'optimisation et de simulation de grands systèmes complexes
30 Mesures et tests de systèmes

Matériaux – Chimie

31 Alliages de polymères
32 Nanocomposites, et renforts nanométriques
33 Matériaux pour systèmes avancés (piézo-électriques, ferroélectriques et magnétiques)
34 Matériaux absorbants de chocs, de vibrations, de bruits, de chaleur
35 Matériaux pour procédés en milieux extrêmes (hautes températures, froid…)
36 Fibres textiles fonctionnelles
37 Catalyseurs
38 Ingénierie et traitement des surfaces
39 Procédés biotechnologiques et biomimétiques de synthèse de minéraux et polymères
40 Procédés de mise en œuvre et de formulation de la matière molle
41 Elaboration de composites à matrice organique
42 Surveillance intelligente de l'élaboration et de la mise en œuvre des matériaux
43 Evaluation non destructive de l'endommagement des matériaux et des assemblages
44 Fabrication en petites séries à partir de modèles numériques
45 Modélisation complète de la transformation des matériaux et intégration dans des bases de données
46 Modélisation moléculaire des polymères
47 Techniques de synthèses et de tests haut débit

Construction – Infrastructure – Habitat

48 Systèmes performants pour enveloppe de bâtiment
49 Techniques de diagnostic des structures
50 Technologies de déconstruction
51 Conception et mise en œuvre des ouvrages dans une logique de développement durable
52 Ingénierie concourante
53 Réalité virtuelle augmentée pour la conception architecturale et technique
54 Gestion de l'air dans les bâtiments
55 Réduction des bruits
56 Béton à performances optimisées
57 Matériaux composites pour les routes (les enrobés)
58 Technologies de travaux souterrains
59 Off shore grands fonds
60 Robotique mobile en milieu hostile

Environnement – Energie

61 Stockage de l'énergie
62 Pile à combustible
63 Microturbine
64 Eolien offshore
65 Photovoltaïque
66 Eclairage et visualisation à basse consommation
67 Supraconducteurs
68 Piégeage et stockage du CO2
69 Conditionnement / entreposage et stockage des déchets nucléaires à vie radioactive longue
70 Fluides frigorigènes à haute qualité environnementale
71 Stabilisation en vue du stockage et de l'utilisation écocompatibles des déchets ménagers
72 Recyclage de matériaux spécifiques
73 Elimination des métaux lourds dans les boues et les effluents
74 Filtration membranaire
75 Développement des techniques de diagnostic et de traitement des sols
76 Outils de gestion et d'évaluation des risques environnementaux et sanitaires

Technologies du Vivant – Santé – Agroalimentaire

77 Ingénierie des protéines
78 Transgénèse
79 Détection et analyse des risques pour l'environnement liés aux OGM
80 Thérapie génique
81 Clonage des animaux
82 Criblage de molécules actives
83 Greffe d'organe
84 Thérapie cellulaire
85 Organes bio-artificiels
86 Imagerie médicale
87 Chirurgie assistée par ordinateur (GMCAO)
88 Miniaturisation des instruments de recherche médicale
89 Traçabilité
90 Marquage métabolique des aliments
91 Technologies « douces » pour la préservation de la qualité des aliments
92 Biocapteurs, biopuces

Transport – Aéronautique

93 Architecture électrique
94 Architecture électronique - informatique répartie et multiplexage
95 Compatibilité électromagnétique
96 Composants électroniques de moyenne puissance
97 Sûreté des systèmes embarqués et infrastructures
98 Ergonomie de l'interface homme-machine
99 Amélioration des performances énergétiques d'ensemble des véhicules
100 Véhicules intelligents et communicants
101 Moteurs thermiques
102 Amélioration du coût et des performances des lanceurs spatiaux

Biens et services de consommation

103 Outils de personnalisation de la relation client
104 Agents intelligents
105 Offre de produits et de services de grande consommation à base de réalité virtuelle
106 Outils de santé à la disposition des consommateurs
107 Design sensoriel y compris la métrologie sensorielle
108 Méthodes de marketing liées à l'utilisation des TIC

Technologies et Méthodes de Conception – Gestion – Production

109 Systèmes d'organisation et gestion industrielle améliorés
110 Formalisation et gestion des règles métiers
111 Outils d'aide à la créativité
112 Représentation de la perception du consommateur
113 Simulation, modélisation du comportement humain (dans le poste de travail, face au produit…)
114 Multi - représentation des objets virtuels / qualité de la représentation
115 Simulation numérique des procédés
116 Représentation et gestion des processus de l'usine numérique
117 Prototypage rapide
118 Supply Chain Management
119 Soutien Logistique Intégré

III.2 – Fiches de synthèse

Technologie de l'Information et Communication

Matériaux – Chimie

Construction – Infrastructure

Energie- Environnement

Technologie du Vivant – Santé - Agroalimentaire

Transport – Aéronautique

Biens et services de consommation

Technologie et Méthodes de Conception – Gestion – Production

Intitulé de la "technologie clé" (qui peut être une fonction remplie)

Définition de la technologie clé et brève description des enjeux

Stade de maturité de la technologie sur son cycle de vie et degré de diffusion des applications

Position intermédiaire entre moyenne et faible

Pour les critères utilisés pour l'évaluation de ces positions, voir le chapitre I-6

Repérage de liens entre la technologie clé considérée et d'autres technologies clés

Fabrication en petites séries à partir de modèles numériques

La fabrication à partir de modèles numériques de pièces métalliques industrielles s'appuie sur les acquis du prototypage rapide. Celui-ci permet de réaliser automatiquement et très rapidement des pièces « prototypes » dont la géométrie et les dimensions sont très proches de celles qu'aura le produit final. Il utilise des logiciels de design industriel commandant des dispositifs de formage de la matière et fait appel à diverses technologies (avec laser : fabrication par découpe et laminage, stéréolithographie, frittage ; sans laser : dépôt de fil fondu, flashage couche par couche, projection de colle, de cire, ou de plastique). L'application à la fabrication, en particulier pour les pièces métalliques, permet la réduction des séries et la recherche de flexibilité en supprimant des étapes de réalisation des produits. Il subsiste de nombreux problèmes tels que la précision, la porosité et l'état de surface des pièces obtenues. Favoriser les partenariats entre concepteurs et utilisateurs ainsi que la création de start-ups à partir de laboratoires pourrait contribuer à multiplier les applications et à développer l'offre.

Liens : Prototypage rapide

DEGRE DE DEVELOPPEMENT				
Technologie	émergence	**croissance**	maturité	
Applications industrielles et commerciales	**naissance**	diffusion	généralisation	
POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	**faible**	inexistante
Europe	forte	**moyenne**	faible	inexistante
POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	**faible**	inexistante
Europe	forte	**moyenne**	faible	inexistante

Exemple de secteur applicatif	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaine scientifique concerné
- Mécanique de petite série	- Prototypes - Outillage pré-série - Moules - Pièces mécaniques spéciales - Production	- **Fabrication en petites séries à partir de modèles numériques**	- Métallurgie des poudres - Laser - Electroplastie - Compression isostatique à chaud - Collage, frittage	- Apport de matières - Apport local d'énergie - Problèmes des pièces de grande dimension - Précision dimensionnelle	- Métallurgie - Optique laser - Thermodynamique - Diagramme de phases

Grille de caractérisation de la technologie clé, voir le chapitre I-5.
Les exemples présentés (secteurs d'application, usages, domaines scientifiques concernés) le sont à titre illustratif et ne revendiquent pas l'exhaustivité.

Technologie de l’Information et Communication

1 - Microélectronique silicium

La microélectronique silicium comprend un ensemble de Technologie qui regroupent les procédés et les équipements pour la microélectronique CMOS Si < 0.1 µ, les systèmes de production de circuits intégrés Si < 0.1 µ, les outils de conception de circuits intégrés Si < 0.1 µ et de conception de systèmes sur puce ainsi que les architectures (microprocesseurs, DSP, mémoires volatiles et non volatiles, circuits différentiés) et les méthodes et équipements de test pour circuits intégrés < 0.1 µ. Elle doit suivre un rythme d'évolution effréné pour être compétitive. Il s'agit en permanence d'augmenter les performances (vitesse, nombre de transistors intégrables sur une puce,…) tout en améliorant les autres paramètres (prix, consommation énergétique,…). Les difficultés technologiques sont liées à la nécessité de réduire la taille des motifs des dessins en deçà de 0.1µ (composition des transistors), d'augmenter la taille des puces et les performances en production. Cette évolution induit des contraintes technologiques importantes nécessitant une forte activité de recherche : nouveaux matériaux, nouveaux procédés, nouvelles architectures de transistors pour répondre à des besoins différents (calcul logique, mémoires, analogique, ..). Un travail de recherche doit également être fourni pour le développement d'architectures (organisation des transistors) permettant les fonctions primaires (processeurs, plan mémoire, décodeurs, bus,…). Les développements logiciels associés sont très importants (compilateurs, gestion de la qualité, simulation matérielle des puces et cosimulation,…), encore renforcés par la rupture technologique des Systèmes sur Puce. Le marché très important des circuits intégrés (150 Milliards d'euros en 1999) est en forte croissance (+15 %/an).

Liens : microélectronique III V (AsGa, InP ; équipements et matériaux pour salles blanches, robotique ; rétines de prise de vue ; mesures et tests de systèmes ; amélioration du coût et des performances des lanceurs spatiaux

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité	
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion		généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte		moyenne	faible	inexistante
Europe	forte		Moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Tous secteurs	- Composants électronique - Micro-processeurs - …. - Mobiles (GSM, assistants personnels…) - Terminaux (PC,TV..)	- Sous ensemble - Economie d'énergie et de volumes - Traitement automatique de l'information	- **Microélectronique silicium**	- Liaison conception – production - Liaison CPU – compilateurs - Lithographie, gravure - Conception, ultrapureté - Pollution électromagnétique - Mesure, tests, contrôle du procédé	- Cristallographie - Mécanique de précision - Optique visible et X - TTS, Matériaux - Mathématiques (preuve) - Informatique

2 – Microtechnologies - Microsystèmes

Les microsystèmes sont des dispositifs dont les dimensions sont dans la gamme de quelques 1/10ème de mm à quelques cm, et interagissant avec leur environnement par des sous-ensembles divers : mécaniques, chimiques, électromagnétiques, électrostatiques,... Leur faible taille permet leur intégration et une très faible consommation (énergie, matériaux,…).Ils incluent des micro-capteurs, micro-actionneurs, et éventuellement une capacité autonome de traitement de l'information. Ce sont des micro-vannes, micro-moteurs, micro-capteurs, laboratoires ADN,... Leur fabrication s'appuie sur des techniques issues de la microélectronique (fabrication parallèle, photolithographie, dépôts et gravures,…), complétées par des matériaux et des opérations spécifiques visant à produire les particularités de leur domaine, ce qui permet d'en obtenir de grands volumes à faible prix. Plusieurs sous-ensembles peuvent ensuite être assemblés. La qualité de fabrication répétitive et le test en fin de chaîne sont des problèmes réels. Les domaines d'applications sont vastes : santé, informatique, mécanique, télécommunications, jeux, identification, détecteurs de fumée/gaz,… Le développement de microsystèmes exige particulièrement des équipes pluridisciplinaires. Les travaux de recherche comprennent les travaux sur les matériaux, les procédés de fabrication, les outils de simulation,… et une recherche spécifique dans le domaine concerné (ex :santé). Le marché des microsystèmes pourrait atteindre rapidement des milliards d'unités par an.

Liens :

- ***capteurs intelligents***
- ***matériaux pour systèmes avancés***
- ***amélioration du coût et des performances des lanceurs spatiaux***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte		moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Santé - Informatique - Mécanique - Télécom	- Téléphonie mobile - Micro-vannes, micro-moteurs - Têtes d'imprimantes, de disques durs, .. - Capteurs d'accélération jeux - Identification - Détecteurs de fumée/gaz,	- Intégration de fonctionnalités - Capteurs, activateurs - Sous ensemble - Economie d'énergie et de volumes	- **Microsystèmes**	- Microgravure connectique - Cristallographie hétérogène - Modélisation - Intégration microélectronique - Compatibilité des Technologie Test	- Mécanique - Physique des matériaux - Simulation - Optique - Hyperfréquences

3 - Microélectronique III V (AsGa, InP, ..)

La microélectronique basée sur les semiconducteurs III-V (AsGa, InP et composés ternaires du type AsGaAl) est complémentaire de la microélectronique silicium. Elle exploite les propriétés intrinsèques de ces matériaux pour des marchés relativement limités mais d'importance essentielle. Les amplificateurs de puissance pour des applications de téléphonie mobile, exploitant la grande linéarité et le fort rendement de puissance ajoutée. En 1999, le marché mondial des composants RF AsGa pour téléphones cellulaires a représenté 1.5 milliards d'euros. Les circuits de commande ou détection pour communications optiques à très haut débit (laser drivers, amplificateurs transimpédance, multiplexeurs/démultiplexeurs à 40 Gbit/s et 160 Gbit/s). Des applications spatiales et dans un proche avenir, des applications dans les domaines de fréquence millimétriques : LMDS (distribution de contenus multimédia, TV données en large bande autour de 27 ou 40 GHz), radar anticollision pour automobile (77 GHz) etc…. Le marché total des composants GaAs était de 6.5 milliards d'euros en 1997 et est estimé à 10 milliards en 2002. L'état de l'art actuel montre des composants à fréquence de coupure ft de l'ordre de 225 GHz. Les prévisions donnent 350 GHz vers 2005 (dimensions critiques 70 nm). De nouveaux composants et circuits exploitant des structures épitaxiales complexes (matériaux métamorphiques, transistors hetérobipolaire) seront alors couramment fabriqués sur des plaques de diamètre 6 pouces.

Liens :

- ***microélectronique silicium***
- ***amélioration du coût et des performances des lanceurs spatiaux***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Défense - Télécom filaire - Broadcast - Spatial	- Composants très haute fréquence, à forte linéarité ou de puissance, logiques ultra rapides, nouveaux composants quantiques - Wireless LAN, téléphones cellulaires : GSM, DECT, UMTS, communications optiques - Radars anti collision - LMDS (TV)	- Traitement et amplification des signaux hertziens jusqu' à plus de 100 GHz - Etage de puissance de téléphonie mobile - Etage d'émission réception de systèmes de communication millimétrique, - Etage de contrôle et de réception de télécommunications optiques à très haut débit (> 40 Gbit/s, 160 Gbit/s)	- **Microélectronique III V (AsGa, InP, ..)**	- Matériaux, maîtrise de couches épitaxiées (outils) - Contrôle de procédé afin de réduire les coûts - Conception de circuits très haute fréquence - Durcissement pour environnement radiatif (ions lourds, protons,…)	- Cristallographie, Physique du solide - Electromagnétisme, hyperfréquences - Simulation

4 - Capteurs intelligents

Les capteurs détectent et mesurent des phénomènes – physiques, chimiques ou biologiques (les biocapteurs sont traités par ailleurs) – et les traduisent en informations – souvent sous forme électronique – pouvant faire l'objet de différents types de traitement et d'exploitation (y compris en termes de décisions et d'actions). Les capteurs intelligents intègrent des fonctions supplémentaires, telles que le traitement du signal, l'auto-test ou l'auto-calibration, des fonctions de calcul, d'identification ou encore de communication…

Les capteurs intelligents sont au cœur des processus industriels : sans véritable alternative technologique, ils permettent d'augmenter ou de garantir la qualité des produits fabriqués, mais aussi la sûreté et la disponibilité des outils de fabrication (télésurveillance). Ils connaissent également des applications de plus en plus nombreuses dans des domaines tels que la surveillance de l'environnement ou la sécurité des utilisateurs (en particulier dans les transports : contrôle de distance, contrôle de trajectoire…). Enfin, ils sont appelés à jouer un rôle de plus en plus déterminant dans le fonctionnement de nombreux produits « grand public », de l'automobile à la machine à laver…

Les développements réalisés sur les capteurs intelligents portent aujourd'hui, notamment, sur leur fiabilité et leur capacité à résister à un environnement agressif, sur leur miniaturisation (pour le matériel embarqué), sur leur capacité à traiter et intégrer des données multiples et hétérogènes, sur leur intégration au sein de systèmes électroniques et leur interface avec les moyens d'action/décision en rapport avec les informations qu'ils fournissent.

Le domaine des capteurs bénéficie à plein de l'apport de nouvelles technologies, telles que les couches minces, les fibres optiques, les semi-conducteurs et toute la gamme des microtechnologies (qui combinent la microélectronique et des technologies plus classiques, comme la micromécanique, la fluidique ou l'optique).

Liens (autres que les mentions en italiques de la grille ci-dessous) :
- ***microsystèmes***
- ***biocapteurs, biopuces***
- ***capteurs de vision / capteurs d'image***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Transports - Chimie - Santé - Spatial - Défense - Météorologie - Environ-nement - Assurances - Logistique - Nucléaire - Bâtiment - Industrie en général	- Maintenance prédictive - Pilotage et navigation - Mesures de distances et positionnement - Mesure du niveau de pollution - Contrôle et diagnostic, détection de dysfonctionnement - ABS, Air Bag anticollision… - Hypovigilance - Exploitation - Maîtrise des procédés - Contrôle en ligne et régulation - Réception et classement des récoltes - Détection et traitement des odeurs - Reconnaissance vocale - Télésurveillance des systèmes productifs - *Réseau domestique numérique* - *Mesure et test de systèmes* - *Systèmes performants pour enveloppe de bâtiments* - *Techniques de diagnostic des structures* - *Gestion de l'air dans les bâtiments* - *Réduction des bruits* - *Robotique mobile en milieu hostile* - *Outils de gestion et d'évaluation des risques environnementaux et sanitaires* - *Sûreté des systèmes (embarqués et infrastructures)* - *Ergonomie de l'interface homme-machine* - *Véhicules intelligents et communicants* - *Offre de produits et de services de grande consommation à base de réalité virtuelle* - *Outils de santé à la disposition des consommateurs* - *Design sensoriel y compris la métrologie sensorielle* - *Simulation numérique des procédés* - *Représentation et gestion des processus de l'usine numérique*	- Mesure, détection - Traitement du signal - Auto-test, auto-calibration - Calcul - Identification - Capacité de communication - Capacité à traiter et intégrer des données multiples et hétérogènes - Intégration au sein de systèmes électroniques - Interface avec les moyens d'action/décision	**Capteurs intelligents**	- Miniaturisation - Précision, fidélité, reproductibilité de la mesure - Vitesse de mesure - Fiabilité - Résistance à des conditions extrêmes engendrées par les procédés (température, pression, choc, encrassement…) - Contraintes industrielles - Autonomie - Traitement électronique - Fibres optiques - Micromécanique - Fluidique - *Techno. logicielles de l'informatique distribuée* - *Techno. logicielles de la langue et de la parole* - *Techno. logicielles pour le transport de données* - *Techno. logicielles pour la gestion des données et du contenu* (analyse d'image, reconnaissance des formes…) - *Microélectronique silicium* - *Composants optoélectroniques et photoniques* - *Objets communicants autonomes (identifiants intelligents, étiquettes)* - *Matériaux pour systèmes avancés (piézo-électriques, ferroélectriques et magnétiques)* - *Ingénierie et traitement des surfaces* - *Ergonomie de l'interface homme-machine* _____ **Autres points critiques** - Maintenance prévisionnelle - Coût lié à la taille des marchés (industries alimentaires)	- Physique et chimie (toutes branches dont relèvent les phénomènes mesurés par les capteurs) - Physique des matériaux et des semi-conducteurs - Mécanique - Optique - Electronique - Informatique générale - Informatique logicielle - Réseaux neuronaux - Automatique - Traitement du signal

5 - Mémoires de masse

Avec le développement du multimédia et l'évolution des applications informatiques le stockage des données devient un problème crucial. Les mémoires de masse sont des dispositifs ou supports permettant une ou plusieurs actions - enregistrement (écriture), conservation (mémorisation), effacement, restitution (lecture) - sur des quantités importantes d'informations (textes, graphiques, sons,…). Elles constituent un archivage à moyen et long terme de tout type d'information, une mémoire intermédiaire de travail et/ou sauvegarde dans les systèmes de traitement de l'information, un support d'édition et de diffusion de l'information. Outre la capacité de stockage, les mémoires devront avoir des caractéristiques de plus en plus " pointues " que ce soit au niveau des taux de transfert ou de la fiabilité.
On distingue plusieurs familles de moyens d'enregistrement : techniques magnétiques, techniques optiques, et les mémoires sur circuits intégrés. Des dispositifs nouveaux pourraient être élaborés (mémoires atomiques, …)

Il s'agit de marchés de masse, avec plusieurs dispositifs de plusieurs types par individu.

Liens : assistants digitaux portables

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Electronique	- Généralisation à tous les objets / appareils bénéficiant d'un micro-processeur	- Stockage de l'information - Archivage	- **Mémoires de masse** - Volatile et non volatile - Optique / Magnétique - Micro machines	- N-couches - Manipulation atomique (micropointes) - Magnéto-résistivité / MR géante - Matériaux optiques	- Physique - Optique - Electronique - Traitement du signal - Optique

6 - Composants optoélectroniques et photonique

Ils se répartissent en trois différents modules : les modules sources pour l'émission, les modules de détection, les modules passifs ou actifs pour le traitement, la mise en forme et la transmission optique de l'information. Le développement de ces composants, sur tout substrat notamment polymère, nécessite la mise en œuvre de différentes Technologie optiques et électroniques (en particulier les technologies de connectique). Le déploiement de la fibre optique jusque chez l'abonné entraîne des contraintes économiques considérables pour les composants opto-électroniques. La recherche d'un faible coût devient plus importante que celle des performances techniques. L'utilisation de la transmission optique s'est en effet généralisée à l'ensemble de la partie transport du réseau de télécommunications. La prochaine étape devrait consister à utiliser les transmissions optiques pour le réseau de distribution, aussi bien pour les liaisons téléphoniques que les transmissions de données ou la diffusion de la télévision.

Liens : infrastructures pour réseaux dorsaux haut débit

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Télécom (mobile) - Défense - Aéronautique	- Surveillance, sécurité - Observation scientifique et militaire - Réseaux optiques - Interconnection sur une puce - Réseaux très haut débit - Portabilité - Miniaturisation - Réduction de la consommation d'énergie	- Transmission optique à longue distance, multiplexage, Capteurs visuels, Transmission, Traitement rapide de l'information - Réduction de la consommation d'énergie (batteries) - Intégration de fonctions - Electronique souple	- **Composants optoélectroniques et photoniques**	- Multiplexage optique de densité de longueur d'ondes (WDM) - Matériaux, substrat polymère - Fibres régénératrices - Solitons - Matériaux	- Cristallographie - Physique du solide - Sciences des matériaux

7 - Composants d'interconnexion et d'interface

La tendance générale à l'augmentation de la complexité des circuits et systèmes se retrouve au niveau des composants d'interconnexion et d'interface (connecteurs, circuits hybrides, circuits imprimés). Tout comme les semi-conducteurs, ces composants doivent tenir le moins de place possible. De plus, ils doivent être légers.

L'évolution actuelle conduit notamment à une diminution de la largeur des pistes des circuits imprimés et des modules de circuits hybrides, à l'interconnexion en trois dimensions des composants électroniques, et à l'utilisation de connexion par microbilles (qui autorisera l'augmentation du nombre d'entrées/sorties d'un boîtier).

L'évolution prévisible de la complexité et de la densité des semi-conducteurs entraînent pour les composants d'interconnexion des évolutions technologiques de fond : augmentation de la puissance, de la vitesse et de la densité, diminution des coûts et du cycle de vie des produits.

Par ailleurs, le développement de certains secteurs d'application, notamment celui des télécommunications entraîne des besoins croissants en matière de composants de connexion optoélectronique et hyperfréquence.

Liens :

- *microélectronique silicium*
- *microsystèmes*
- *microélectronique III – V (AsGa, InP)*
- *composants optoélectroniques et photoniques*
- *objets communicants autonomes*
- *assistants digitaux portables*
- *véhicules intelligents et communicants*
- *architecture électrique*
- *architecture électronique informatique répartie et multiplexage*
- *capteurs intelligents*

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	Maturité
Applications industrielles et commerciales	naissante	diffusion	Généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	Inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	Inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	Inexistante

Europe	forte	moyenne	Faible	Inexistante

Exemples de secteur d'application	**Exemples d'usage**	**Fonction remplie**	**Technologie**	**Points technologiques critiques**	**Domaines scientifiques concernés**
- Electronique - Transports (automobile, aéronautique, …) - Télécommunications - informatique	- circuits imprimés - connecteurs - circuits hybrides - module multipuces (MCM) - câblage - …	- distribution d'alimentation et de signaux - dissipation thermique - protection mécanique, thermique, … - interface avec l'extérieur	- **Composants d'interconnexion et d'interface**	- Procédés de fabrication - CAO - Tests - Réalisation du substrat et du boîtier - Report et assemblage des composants - Matériaux de brassage - Connectique optique et hyperfréquence	- Matériaux - Optique - Hyperfréquence - Chimie et physico-chimie - mécanique

8 – Capteurs de vision ou capteurs d'imag

La disponibilité nouvelle du traitement numérique de l'image, et notamment de sa compression ouvre de nouveaux marchés de masse (> 1 unité/individu) pour les systèmes de prises de vue : téléphone portable, visio-conférences, surveillance, webcams, etc.
Ces capteurs s'appuient sur deux technologies principales : CCD (qualité d'image élevée) et CMOS (facilité de mise en œuvre).
Les améliorations technologiques de base portent sur les caractéristiques des capteurs (définition, nombre de couleurs, sensibilité, bruit). Par ailleurs, l'amélioration des procédés de fabrication doit permettre d'abaisser les coûts.
En complément du dispositif de base, et ce particulièrement pour les imageurs CMOS, il s'agit de développer, sur la même puce, les unités d'interface, de traitement vidéo et de compression d'image, toujours dans des conditions optimales de coûts. L'intégration d'éléments de contrôle d'une optique modulable (zoom, mise au point) pour fournir un dispositif de capture d'image totalement intégré est également un enjeu important.

Liens (autres que les mentions en italiques de la grille ci-dessous) : capteurs intelligents.

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	Maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	Généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	Inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	Inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	Inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	Inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonctions remplies	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Défense - Communication - Loisirs - Spatial	- Webcam, webphone - Camescopes analogiques et numériques - Senseur, caméra, appareil photo - *Robotique mobile en milieu hostile* - *Offre de produits et de services de grande consommation à base de réalité virtuelle* - *Ergonomie de l'interface homme-machine* - *Outils de santé à la disposition des consommateurs*	- Acquisition d'images - Surveillance	- **Capteurs de vision ou capteurs d'image** (CCD ou CMOS)	- *Techno. logicielles pour le transport de données* (compression d'images) - *Microélectronique silicium* - *Techno. logicielles pour la gestion des données et du contenu* (analyse d'image, reconnaissance des formes…) - Intégration des capteurs, des traitements et des protocoles - Miniaturisation - Packaging - « Fill factor »	- Physique du solide - Optique - Traitement d'image du signal microélectronique - Micro-électronique - Informatique logicielle

9 - Ecrans plats

Les technologies des systèmes de visualisation et d'affichage sont multiples : écrans plats à cristaux liquides à matrice active en silicium amorphe, écrans plats à cristaux liquides à matrice active en silicium polycristallin, écrans plats à plasma, écrans plats électroluminescents à base de polymère, écrans plats à micropointes, dispositifs de projection à matrice cristaux liquides , papiers électroniques, etc. Le marché des équipements portables a fait des écrans plats une technologie essentielle et on peut estimer à quelques centaines de millions d'unités par an la consommation actuelle . La fonction la plus importante est l'affichage de données et on peut prévoir une forte évolution de la demande de visualisation d'images animées couleur de qualité vers 2003/2005, lorsque les réseaux de téléphones portables le permettront (on voit déjà l'importance des écrans couleur dans les camescopes et appareils photos). L'ajout d'afficheurs sur les cartes à puces et étiquettes électroniques, fabriqués en très grandes quantités, entraînera une consommation de plusieurs milliards par an , dans ce cas le coût sera déterminant pour des afficheurs très simples. Mais l'utilisation des écrans plats ne se limite pas à ces seuls appareils. A terme, les applications à tube cathodique ou " virtual displays " pourraient aussi être concernées. L'apparition d'afficheurs souples de faibles poids et intégrant les circuits de commandes pour assurer une connectique simple pourra aussi ouvrir le marché des livres électroniques.

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE					
France	forte	moyenne		faible	inexistante
Europe	forte	moyenne		faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Liens : assistants digitaux portables

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Télécommunications - Cinéma électronique - Médical - Avionique	- Evénementiel - Multimédia, télévision - Projection grand format - Assistants personnels PDA - Livre électronique - Carte à puces et objets intelligents	- Présentation de l'information	- **Ecrans plats** - Afficheurs 2D/3D - Electronique de pilotage et d'adressage	- LCD, plasma, PALC, micro cathode, micro-miroir, encre électronique, écran haute définition , séparation des points - Substrats souples - Electro-luminescent organique (OLED) - Système à émission de champs (FED) **Autres points critiques** - Coût	- Informatique - Electronique - Optique - Matériaux

10 - Equipements et matériaux pour salles blanches, robotique

La fabrication de dispositifs toujours plus petits et plus pointus dans leurs performances requiert des environnements et des matériaux de pureté très contrôlée. Les applications sont dans tous les secteurs de la microélectronique et dérivés (microsystèmes, biopuces, …), dans les domaines de la santé, pour les écrans plats, etc. Les techniques de salle blanche font appel à la construction de batiments aux matériaux soigneusement contrôlés : vibration, émissions de poussière, dégazage, étanchéïté, … Il faut ensuite un système de production d'environnement contrôlé (air - température, hygrométrie, poussières, composés volatils - eau – teneurs en ions, bactéries, …), ainsi qu'un approvisionnement de très haute qualité pour les matériaux utilisés dans la fabrication (gaz, liquides, solides). La mesure de la qualité de ces éléments est essentielle. La conception intégrée de salles blanches répondant aux spécifications complexes doit également être abordée. Une automatisation poussée est de plus nécessaire pour atteindre des coûts de fabrication réduits et améliorer la qualité. La robotique de manipulation, transfert, interfaces entre machines, emballages étanches, automatisation des mesures, etc. doit être développée.

Liens : microélectronique silicium

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Electronique	- Fabrication de Circuits intégrés - Fabrication de biopuces - …	- Fabrication de qualité	- **Equipements et matériaux pour salles blanches, robotique**	- Mesures haute précision - Eléments haute pureté (matériaux, conteneurs, tuyaux, …) - Traitements de surfaces	- Physique des interfaces et surfaces - Chimie haute pureté

11 - Batteries et gestion de la micro-énergie

Le développement des applications mobiles est conditionné par l'utilisation d'une source d'énergie à la fois peu volumineuse, légère et de relativement forte capacité. Les batteries actuelles sont principalement au nickel-cadmium. D'autres couples sont utilisés, notamment le couple nickel-hydrures métalliques et le couple lithium-ion. Il existe quelques études autour de batteries papiers et des Technologie lithium -polymères.
Le développement des objets portables intelligents (cartes à puces, objets communicants etc) entraîne des nouvelles demandes de batteries fines ou supercapacité en très grande quantité , pouvant à terme atteindre quelques milliards par an en plus des batteries classiques de plus grandes capacités pour usages téléphones portables. Les conditions pour réussir sont la qualité de l'électronique associée (électronique de contrôle). La gestion du cycle de vie du produit et les questions d'environnement sont aussi importantes.

Liens :
- ***objets communicants autonomes***
- ***assistants digitaux portables***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance		maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion		généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Electronique - Télécommunications - Transports	- Terminaux portables - Cartes à puce - Objets intelligents - Etiquettes électroniques	- Stockage d'énergie pour contribuer à la portabilité, la mobilité, le nomadisme ainsi que l'accès aux contenus - Sécurité	- **Batteries et gestion de la micro-énergie** - Volume - Durée - Rapidité et contrôle de chargement	- Micro-générateurs - Matériaux - Travail en rouleau - Enduction des poudres - Métallisation - Connections - Microélectronique silicium - Fabrication	- Physique - Electronique - Chimie - Matériaux

12 - Objets communicants autonomes (identifiants intelligents, étiquettes)

Les étiquettes ou identifiants intelligents sont des puces ou des cartes électroniques à mémoire possédant une capacité de traitement et de restitution de l'information. Ils permettent, entre autres, l'identification, automatique du porteur par simple lecture, sans contact physique, mais aussi le paiement ou la gestion d'un fichier personnel portable de données.
Ces technologies sont étroitement liées aux systèmes de production, dans une logique de traçabilité des produits (logistique, Service Après Vente...), mais aussi de maîtrise des séries courtes, avec des ateliers flexibles qui doivent répondre à la production de produits de plus en plus personnalisés. Mais elles trouvent aussi leur application dans les biens et services de consommation - par exemple à travers les bagages d'avion, les forfaits de ski, les billets de train « main libre » - ou dans la lutte contre la contrefaçon. Elles peuvent également servir à la reconnaissance des animaux, voire des personnes ayant des maladies graves nécessitant une reconnaissance immédiate.
L'enjeu actuel est de développer l'intelligence liée à un applicatif, dans de nombreux domaines, tels que la téléphonie, la santé, les contrôles d'accès logiques et physiques, la fidélité, etc. Les évolutions prévisibles privilégient les interactivités à forts débits, la convivialité des échanges et la sécurisation des transactions. Du fait de l'évolution des mémoires embarquées de masse (quelques Gigaoctets dès 2005), le fichier personnel deviendra plus intéressant.
Les ventes de ces composants devraient atteindre en 2002 plus de 640 millions d'unités, contre 1,4 million en 1998. La durabilité et le caractère biologiquement neutre (industrie agro-alimentaire) sont deux facteurs de succès de ces technologies. Certains freins à la diffusion restent cependant présents aujourd'hui, comme le coût (10 à 100 fois plus élevé que pour un code à barres, même s'il faut prendre en compte le coût réel tous services confondus) et la normalisation des systèmes.

Liens (autres que les mentions en italiques de la grille ci-dessous) : techno. logicielles pour la sécurité des réseaux.

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemple de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- IAA - Biens industriels - Biens de consommation - Chaîne graphique - Commerce - Banque - Telecom, Internet - Transports	- Gestion des stocks - Chaîne du froid - Information clients et liens avec le SAV - Lutte contre les contrefaçons - Identification des ventes - Télépéage, forfaits de ski - Domotique - Communication personnelle - Sécurité des biens et des personnes - Paiement électronique mobile - Ateliers flexibles - *Réseau domestique numérique* - *Capteurs intelligents*	- *Traçabilité* - Enregistrement - Reconnaissance et identification des personnes et des animaux : fonction badge - Personnalisation - Nomadisme - Gestion d'un fichier personnel portable de données	**Objets communicants autonomes (identifiants intelligents, étiquettes)**	- Micro-processeur multifonction multiopérateur et protocoles, - Electronique de pilotage et d'adressage - Transmission d'informations - Protocoles sans fil - Cryptage - Technologie de fabrication des étiquettes - Durabilité - Compatibilité avec les fonctions du produit - Activation / désactivation - Caractère biologiquement neutre (biodégradabilité) - Technologies de sécurisation - *Génie logiciel* - *Techno. logicielles de l'informatique distribuée* - *Techno. logicielles pour les systèmes temps réel ou contraint* - *Batteries et gestion de la micro-énergie* **Autres points critiques** - Coûts - Normalisation	- Electronique - Micro-électronique - Electronique RF et Hyperfréquences - Informatique générale - Informatique logicielle - Cryptologie - Chimie / Biologie

13 - Assistants digitaux portables

Les assistants digitaux portables correspondent à la nouvelle génération de terminaux portables à écran, fusionnant téléphone, messagerie, moyens transactionnels. Ils permettent la simplification des tâches fonctionnelles répétitives. Les assistants digitaux portables sont l'archétype du « client léger » dans les nouvelles architectures client-serveur. Ils sont soumis à des contraintes fortes qui en font un domaine en évolution rapide : synchronisation avec l'informatique sédentaire, intégration de la téléphonie et du paiement électronique sécurisé, intégration des protocoles HF pour l'accès aux réseaux hertziens de proximité. Ils peuvent utiliser le protocole WAP de dialogue Client-Serveur sans fil et s'interfacer avec les objets domestiques intelligents. Les principaux enjeux sont la communication avec le porteur et avec les réseaux ainsi que la mise au point de standards communs pour garantir l'interopérabilité (par exemple par le développement des OS ouverts). Les marchés sont de quelques dizaines de millions par an et pourront atteindre quelques centaines de millions vers 2005.

Liens (autres que les mentions en italiques de la grille ci-dessous) : réseau domestique numérique.

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité	
Applications industrielles et commerciales	naissance		diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Electronique grand public - Informatique	- Communication personnelle, agenda - Paiement électronique mobile, commerce électronique - Domotique - Information ciblée	**Assistants digitaux portables**	- WAP (protocole pour l'internet sans fil) - Bluetooth (technologie de transmission d'information digitale par radio fréquence courte portée) - Systèmes d'exploitation embarqué pour API (application programming interfaces) - *Génie logiciel* - *Techno. logicielles de l'informatique distribuée* - *Techno. logicielles pour les systèmes temps réel ou contraint* - *Techno. logicielles de la langue et de la parole* - *Techno. logicielles pour le transport de données* - *Techno. logicielles pour la sécurité des réseaux* - *Techno. logicielles pour la gestion des données et du contenu* - *Mémoires de masse* - *Ecrans plats* - *Batteries et gestion de la micro-énergie*	- Sécurité des paiements par encryption (SSL) - Microélectronique silicium et périphériques - Consommation - Portail / dialogue - Ergonomie - … Et divers autres points critiques relevant des technologies citées ci-contre et évoquées par ailleurs	- Electronique, radio-fréquences courte portée et longue portée - Informatique logicielle

14 – Technologies logicielles pour les systèmes temps réel ou contraint

Les systèmes temps réel ou contraint sont des équipements informatiques en interaction avec des environnements ou des procédés physiques dont ils doivent assurer le contrôle en réagissant « instantanément » à leurs évolutions.

Cela concerne, par exemple, l'informatique de commande des centrales nucléaires et des systèmes de fabrication de biens d'équipement en série, les systèmes embarqués (avionique, transports routiers et ferroviaires, lanceurs, satellites, équipements électroménagers, assistants portables, etc.), les systèmes transactionnels (contrôle aérien, réservations réparties, etc.), les jeux vidéo, les transmissions numériques sur Internet de sons et images, etc.

La caractéristique essentielle de ces systèmes est qu'ils doivent réagir en temps contraint et qu'il est nécessaire de prouver (avant leur déploiement opérationnel) que cette garantie temporelle est assurée dans toutes les circonstances envisageables (incluant les cas de dysfonctionnement).

Sur le plan logiciel, en sus des problèmes généraux inhérents à la programmation des systèmes ouverts et répartis, cette mise en œuvre fait appel à la spécification formelle, aux langages d'architecture, aux langages de conception réactifs synchrones et asynchrones, à la vérification prouvée des systèmes temporisés, aux exécutifs temps réel, etc.

La France possède un acquis important et pionnier dans certains de ces domaines ; d'autres restent actuellement des points durs scientifiques et techniques.

Liens (autres que les mentions en italiques de la grille ci-dessous) :
- ***techno. logicielles de l'informatique distribuée***
- ***techno. logicielles pour la sécurité des réseaux***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Productique (et tous	- Systèmes embarqués - Systèmes d'infrastructure	- *Sûreté des systèmes*	**Technologies logicielles pour les**	- *Génie logiciel* - Méthodes de détection précoce des erreurs	- Informatique logicielle

secteurs industriels utilisateurs) - Robotique - Transports - Télécom-munications - Sécurité - Défense - Spatial - Santé - Energie - Electronique grand public	- *Transport de données* - *Objets communicants autonomes* - *Assistants digitaux portables* - *Infrastructures pour réseaux dorsaux haut débit* - *Technologies de boucle locale* - *Réseau domestique numérique* - *Grands serveurs* - *Robotique mobile en milieu hostile* - *Outils de gestion et d'évaluation des risques environnementaux et sanitaires* - *Architecture électronique etc. des véhicules* - *Véhicules intelligents et communicants* - *Systèmes d'organisation et gestion industrielle* - *Multi-représentation des objets virtuels* - *Simulation numérique des procédés* - *Représentation et gestion des processus* - *Soutien logistique intégré* - Réservations en ligne - Télévision numérique - Electroménager - Synchronisation son-image - Jeux vidéo - Interfaces graphiques améliorées - Filtrage d'information sur poste client	- Réaction instantanée ou en temps contraint des systèmes aux évolutions de l'environnement - *Ingénierie des grands systèmes complexes* - *Mesure et test de systèmes*	**systèmes temps réel ou contraint** -	- Modélisation et vérification de systèmes temporisés - Middleware à garantie temporelle - Traitement des événements rares - Ordonnancement et placement temps réel - Migration dynamique sous contrainte temporelle - Conception et validation de la sûreté de fonctionnement temporelle - Tests à couverture temporelle - Portage des systèmes d'exploitation - Intégration des entrées/sorties réseaux - Optimisation des applications en volume et consommation	- Preuve formelle - Modélisation - Automatique - Algorithmie

15 – Technologies logicielles de la langue et de la parole

L'ingénierie linguistique vise à permettre à l'ordinateur ou à des applications logicielles de comprendre le sens du " langage naturel " (par opposition aux langages informatiques). Elle participe à l'amélioration de l'interface homme-machine. Les techniques mises en œuvre sont les plus avancées : intelligence artificielle, analyse linguistique, ainsi que, pour la reconnaissance de la parole, réseaux de neurones, analyses statistiques avancées. Les technologies vocales entrent en phase de maturité. Les progrès scientifiques et technologiques sont réguliers, la robustesse s'améliore. Le développement de grandes et petites entreprises dans le secteur concourt à l'industrialisation de ces technologies et à leur diffusion dans les services en ligne et hors ligne. Cependant, de grands progrès restent à faire concernant le champ d'usage de ces technologies liées à l'influence de l'environnement (bruits), la taille des vocabulaires et les aspects sémantiques de la parole. Par ailleurs, la diversification des conditions d'accès, de transport et de diffusion renouvellent le champ du codage. Avec le développement d'Internet, des mobiles et de la domotique, l'impact économique des technologies vocales va être considérable, avec cependant un facteur de risque sur la vitesse à laquelle les grands verrous seront levés. Ces technologies sont en interaction avec les technologies de l'indexation pour des applications telles que la recherche de contenus multimédia.

- ***Liens : cf. les mentions en italiques de la grille ci-dessous.***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT				
Technologie	émergence	croissance		maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation	

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE					
France	forte		moyenne	faible	inexistante
Europe	forte		moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Télécom	- *Techno. logicielles pour la gestion des données et du contenu*	- Identification de mots et de	**Technologies**	- Prosodie et timbre	- Reconnaissance

- Automobile - Tourisme - Services en ligne - Bureautique - Santé	- *Systèmes auteurs pour la création de contenu multimédia* - *Assistants digitaux portables* - *Réseau domestique numérique* - *Capteurs intelligents* - *Ingénierie concourante* - *Imagerie médicale* - *Chirurgie assistée par ordinateur* - *Ergonomie de l'interface homme-machine* - *Véhicules intelligents et communicants* - *Offre de produits et de services à base de réalité virtuelle* - *Outils de santé à la disposition des consommateurs* - *Intermédiation et intégration de services pour l'Internet du futur* - *Méthodes de marketing liées à l'utilisation des TIC* - Messageries multimodales - Interfaces conviviaux - Multimedia sur Internet - Web vocaux - Indexation vocale ou mixte - Systèmes de reconnaissance et de reconstitution de la parole pour serveur de diffusion d'information - Système automatisé de réponses personnalisées - Services en ligne vocaux - Téléphonie mobile - Centres d'appels	sons - Commande vocale - Passage de la parole au texte - Vocalisation de texte - Compression pour la transmission ou le stockage - Dialogue vocal - Accès à l'information à partir de tous les terminaux - Traduction automatique - Analyse et compréhension du langage naturel	**logicielles de la langue et de la parole**	- Reconnaissance de la parole mono / multilocuteur - Taille du vocabulaire - Codage multi-débit - Débruitage et localisation - Sonorisation 3D - Plurilinguisme - Synthèse de phrases - Tests - Enregistrement	des formes - Statistiques - Linguistique (traitement sémantique) - Informatique logicielle - Physiologie - Acoustique - Mathématiques - Réseaux de neurones

16 - Infrastructures pour réseaux dorsaux haut débit

La croissance mondiale du trafic IP étant de 40 à 50% par an, contre 5% pour la téléphonie classique, il est nécessaire de mettre en place des réseaux dorsaux haut débit, sorte de « super réseaux d'interconnexion » en boucle et composé de routeurs, de dimensions nationale, continentale, voire intercontinentale.

Face à l'évolution des besoins et des techniques, les réseaux dorsaux doivent être, à la fois, flexibles et modulaires :

- la flexibilité est apportée par l'utilisation de la technique SDH (Hiérarchie Numérique Synchrone), dont les mécanismes de protection permettent de faire évoluer les débits sans occasionner de perturbation perceptible par les clients ; d'abord multiplexeurs, les équipements SDH ont été améliorés pour fournir des fonctions d'insertion/extraction de paquets IP ;
- quant à la modularité, elle est obtenue par la technologie WDM (multiplexage en longueur d'onde) ; véritables multiplicateurs virtuels d'infrastructure de fibre optique, les équipements WDM permettent d'obtenir l'équivalent de seize anneaux SDH sur une seule paire de fibres ; chacun de ces anneaux ayant un débit de 2,5 Gbit/s (l'équivalent de 300 000 voix téléphoniques), l'ensemble peut atteindre 40 Gbit/s sur une paire de fibres ; prochainement, il sera possible de quadrupler le débit des boucles SDH et de doubler le nombre de longueurs d'onde multiplexées, pour atteindre 320 Gbit/s ; des tests en laboratoire atteignent déjà le Térabit/s .

Outre cette montée en débit, le réseau dorsal va bénéficier de nouvelles fonctions de protection et de brassage optiques. Ainsi, des anneaux WDM autoprotégés offriront l'accès à un canal optique (2,5 gbit/s ou plus) sécurisé par un mécanisme automatique au niveau de la longueur d'onde, puis une gestion des liaisons optiques de bout en bout, dans l'esprit d'un réseau sans couture.

Pour participer à la course aux « Giga/Tera/Peta packet routers » susceptibles d'acheminer et de fiabiliser le trafic IP, il est essentiel de poursuivre les développements liés à l'optoélectronique.

Liens (autres que les mentions en italiques de la grille ci-dessous) : techno. de boucle locale.

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Télécom-munications - Médias - Tous secteurs utilisateurs de services Internet	- Visioconférence - Réseaux privés virtuels (VLAN) - Diffusion broadcast TV - Accès aux services Internet en ligne à haut débit (applications en ligne, consultation de données multimédia…) - *Transmission temps réel de contenus multimédia* - *Intermédiation et intégration de services pour l'Internet du futur* - *Méthodes de marketing liées à l'utilisation des TIC*	- Haut débit - Optimisation de l'exploitation - Amélioration de la qualité de service	- **Infrastructures pour réseaux dorsaux haut débit**	- SDH (Synchronous Digital Hierarchy) - Multiplexage en longueur d'onde WDM, DWDM (Dense Wavelength Digital Multiplexing) - Routage, routage optique - Fibres dopées - Processeurs de réseaux - Protocoles MPLS (MultiProtocol Label Switching) - Routeurs très haut débit (Tera, peta routeurs) - Architecture IP/WDM (tout optique) - Commutateurs très haut débit - Brasseurs et commutateurs optiques - Lasers et modulateurs stables en longueur d'onde - Amplificateurs optiques à large bande - *Techno. logicielles pour les systèmes temps réel ou contraint* - *Grands serveurs* - *Composants **optoélectroniques et photoniques***	- Electronique ultra rapide - Informatique générale - Informatique logicielle - Optique - Opto-électronique - Télécom-munications

17 - Technologies de boucle locale

Afin de pouvoir exploiter les énormes capacités fournies par les technologies optiques des réseaux « back bone », il faut aussi développer des techniques d'accès en boucle locale, avec une bande passante suffisamment importante pour pouvoir distribuer les données ou contenus multimédia, dans des conditions satisfaisantes, jusqu'à l'usager. Les réseaux de distribution des contenus multimédia (CDN Content Delivery Network) nécessitent ainsi l'adaptation des infrastructures des fournisseurs d'accès Internet au « large bande » et à la gestion des flux vidéo en temps réel, jusqu'à la boucle locale. Le réseau d'accès devra pouvoir supporter différents types de services (services dédiés IP, services télécom. et audiovisuels), permettant ainsi l'apparition d'un véritable marché de services large bande (comme, par exemple, la distribution et consultation de vidéo, la vidéo conférence et le commerce électronique). Les technologies de boucle locale constituent donc une clé du développement d'Internet.

A 5 ans, les objectifs de bande passante sont de plus de 1 Mbit/s pour le grand public, plus de 10 Mbit/s pour les PME et plus de 100 Mbit/s pour les grandes entreprises.

Dans le cas de la distribution sur paire torsadée, après le lancement de l'ADSL, des techniques encore plus performantes, comme le VDSL, vont apparaître. D'autres technologies, utilisant d'autres supports (fibre optique, satellite), sont aussi envisagées. En particulier, les nouvelles techniques sans fil (3ème (UMTS) et 4ème génération de mobiles, etc.) peuvent jouer un rôle décisif.

Des investissements importants sont nécessaires pour l'installation des infrastructures correspondantes (stations de base UMTS par exemple). Le contexte réglementaire (ouverture à la concurrence, dégroupage) jouera un rôle essentiel.

Liens (autres que les mentions en italiques de la grille ci-dessous) : infrastructures pour réseaux dorsaux haut débit.

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte		moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Télécom-munications - Médias - Tous secteurs utilisateurs de services Internet - Grand public	- Vidéoconférence - Accès aux services Internet en ligne à haut débit (applications en ligne, consultation de données multimédia, notamment de vidéo) - TV enrichie - Commerce électronique (B to C, B to B) - *Transmission temps réel de contenus multimédia* - *Intermédiation et intégration de services pour l'Internet du futur*	- Distribution IP haut débit jusqu'à l'abonné - Qualité de service - Optimisation de l'exploitation - Interactivité en utilisant une voie de retour	**Technologies de boucle locale**	- Fibre : FTTC/H (fiber to the curb/home) - Paire torsadée : ADSL, VDSL, xDSL - Sans fil : GPRS, UMTS, LMDS, 60 GHz… - Câble, modem câble, satellite - Intégration de la voie de retour (interactivité) - Protocoles d'accès multiple, multiplexage FDD TDD - Technologies à haute efficacité spectrale - Composants hyperfréquence - *Techno. logicielles pour les systèmes temps réel ou contraint*	- Traitement du signal - Informatique logicielle

18 – Technologies logicielles pour le transport de données

On vise ici les technologies logicielles nécessaires au transport « physique » des données (sachant que le « middleware » de l'informatique distribuée en est le complément naturel). Ces technologies représentent un enjeu majeur, dans un contexte où les réseaux de données tendent à être utilisés pour acheminer des flux audiovisuels et où il devient nécessaire de rendre accessible les services Internet, Extranet, Intranet par tous supports (filaire, hertzien, satellite…) et à partir de terminaux diversifiés, utilisés de façon fixe ou en mode nomade.

C'est particulièrement vrai de la qualité de service IP (Internet Protocol). En effet, il est difficile de concilier le point de vue d'un opérateur soucieux de collecter les indices et paramètres propres à la qualité d'exploitation du réseau avec le point de vue des utilisateurs qui privilégient les taux d'erreur (sur les bits ou sur les blocs), l'intégrité du service (interruption et durée entre les interruptions), la sécurité, la capacité d'écoulement du trafic… Le pluralisme des architectures de réseaux, initialement plutôt dédiées aux télécommunications ou à l'informatique, a entraîné des difficultés d'exploitation, en particulier pour les forts trafics sporadiques nécessitant des temps de réponse brefs. De plus, ces dernières années ont vu proliférer des normes de fait, bien avant que les organisations de normalisation aient pu parvenir à définir une norme internationale ou à en préciser les règles d'emploi. A partir de protocoles, qui en général travaillent en trois phases : établissement, transfert de données et libération, l'objectif reste la fourniture d'un service fiable, orienté connexion, de bout en bout, sur des couches réseau pouvant perdre, retarder ou dupliquer les paquets de données (ou datagramme). Certaines fonctions de stockage étant intégrées au réseau, il est de la plus haute importance de contribuer à l'amélioration voire à l'harmonisation des aspects : transport et routage, contrôle des flux, correction d'erreur, longueur des en-têtes...

Si, d'ores et déjà, un service de voix sur IP (version 4) peut être proposé sur des Intranet où la notion de débit garanti est envisageable par allocation de ressources, il faudra certainement passer à IP (version 6) pour un service de « parole » sur Internet permettant des liaisons de type téléphonique entre terminaux hétérogènes. L'arrivée du procédé MPEG 4 qui utilise un débit variable (moins élevé que celui de MPEG 2, avec une meilleure qualité) va permettre de diversifier la nature des services multimédia même sur des réseaux bande étroite et donnera simultanément de nouveaux atouts qualitatifs aux réseaux à haut débit. Particulièrement adaptée aux services interactifs, cette norme optimise les codages et les décodages d'images animées en fonction de la connectivité et autorise une intégration cohérente de différents média dans les applications.

La disponibilité d'outils de mesure et de logiciels d'exploitation et de gestion indispensables pour accroître la fiabilité des échanges sur les réseaux publics comme privés représente un potentiel de développement intéressant pour tous les acteurs : fournisseurs d'accès, opérateurs de télécommunications, hébergeurs, éditeurs, fournisseurs de service, développeurs, SSII, … qui ont tous pour objectif de pouvoir maîtriser la qualité de service en IP.

Liens (autres que les mentions en italiques de la grille ci-dessous) :
- ***Techno. logicielles pour la sécurité des réseaux***
- ***Techno. logicielles de l'informatique distribuée***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
Tous secteurs, en particulier : - Télécom-munications - Audiovisuel	- *Transmission temps réel de contenus multimédia* - *Intermédiation et intégration de services pour l'Internet du futur* - Broadcast TV - Visioconférence - Téléprésence - Jeux en ligne - ASP (application service provider) - *Capteurs de vision / capteurs d'image* - *Assistants digitaux portables* - *Réseau domestique numérique* - *Capteurs intelligents* - *Ingénierie concourante* - *Architecture électronique - informatique répartie et multiplexage dans les véhicules* - *Véhicules intelligents et communicants* - *Outils de santé à la disposition des consommateurs* - *Méthodes de marketing liées à l'utilisation des TIC* - *Supply chain management* - *Soutien logistique intégré*	Transport de données, y compris multimédia, répondant aux impératifs suivants : - Qualité de service (taux d'erreur, taux d'interruption, temps de réponse, débit…) - Qualité d'exploitation du réseau pour l'opérateur - Pluralité des supports (filaire, hertzien, satellite…) - Diversité des terminaux - Distribution « one to many »	- **Technologies logicielles pour le transport de données**	- Anticipation des allocations de ressource de bande passante, réservation de capacité pour la transmission IP de voix, téléphonie, images fixes et animées haute définition et diffusion temps réel vidéo de haute qualité - Compression / décompression (MPEG2, MPEG4…) - Codage (ondelettes, fractales, MPEG-21) - Multicast - Protocoles adaptés au contenu multimédia - Protocoles dynamiques adaptatifs - CORBA temps réel - Caches, gestion de buffers - Synchronisation audio/vidéo - Outils d'administration des réseaux (dont : routage, filtrage, gestion des flux vidéo, tolérance aux pannes, gestion des alertes, administration à distance des serveurs décentralisés…) - *Techno. logicielles pour les systèmes temps réel ou contraint*	- Informatique logicielle - Electronique - Télécom-munications

19 - Réseau domestique numérique

Les technologies numériques vont permettre l'interconnexion par l'intermédiaire du protocole Internet IP de différents appareils dans la maison autour de différents 'clusters' : TV/ DVD/HiFi, PC et périphériques, appareils ménagers.
Les principaux facteurs de succès technologiques sont :

- une liaison physique simple d'installation : sans fil ou exploitant au mieux les câblages existants (téléphone, courants porteurs) et à haut débit,
- la simplicité d'emploi et l'insertion transparente d'équipements nouveaux (développement de protocoles d'échanges entre équipements),
- le coût acceptable pour le grand public,
- la capacité de proposer des fonctionnalités attractives : commerce électronique, jeux en réseau, sécurité/ surveillance, distribution de TV/video dans la maison, connexion d'appareils ménagers à Internet pour commande à distance ou assistance, etc.

Ces réseaux domestiques seront interconnectés avec le réseau extérieur (boucle locale haut débit) par l'intermédiaire d'une passerelle unique pouvant être par exemple une set top box ou un décodeur intégré.

Liens (autres que les mentions en italiques de la grille ci-dessous) : assistants digitaux portables.

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Grand public - Domotique - Santé	- Distribution de vidéo / TV à travers la maison - Télésurveillance, sécurité - Contrôle domotique et commande à distance d'appareils domestiques - Appareils domestiques 'intelligents' - Commerce électronique - *Outils de santé à la disposition du consommateur*	- Interconnexion via Internet des appareils domestiques : TV et périphériques, PC et périphériques, appareils ménagers - Commande / télécommande simple - Interactivité - Passerelle unique vis a vis des réseaux IP très haut débit externes (passerelle, décodeur, Set Top Box etc…)	**Réseau domestique numérique**	- Communications sans fil domestiques : Bluetooth, Home RF, IEEE 802.11, DECT etc. - Infrarouge - Courants porteurs - Bus haut débit : IEEE 1394 (firewire) etc… - Adressage des appareils domestiques IP, IPv6 - *Techno. logicielles de l'informatique distribuée* (agents ; protocoles HAVI, JINI…) - *Techno. logicielles pour les systèmes temps réel ou contraint* - *Techno. logicielles de la langue et de la parole* (commande vocale…) - *Techno. logicielles pour le transport de données* - *Objets communicants autonomes* - *Transmission temps réel de contenus multimédia* - *Capteurs intelligents* - *Ergonomie de l'interface homme-machine*	- Télecom-munications - Traitement du signal - Technologie et composants hyperfréquence - Informatique logicielle

20 – Technologies logicielles pour la sécurité des réseaux

La sécurité des réseaux – principalement assurée par les technologies logicielles (sachant que les cartes à puces y jouent aussi un rôle important) – constitue un facteur essentiel de ces phénomènes majeurs que sont, sur les plans technique, économique et « sociétal », le développement des services en ligne et l'ouverture des systèmes d'information ; il faut en particulier faire face simultanément aux exigences suivantes :

- le système d'information de l'entreprise devient de plus en plus intégré, tandis que différents utilisateurs (fournisseurs, clients, travailleurs nomades...) doivent se connecter de l'extérieur sur son Intranet et que ses collaborateurs ont besoin d'accéder à Internet ;
- la confidentialité des données de l'entreprise doit être assurée ;
- l'avenir du commerce électronique (BtoC, BtoB...) demande un climat de confiance entre consommateurs et vendeurs, via des transactions sécurisées ; il est vital, notamment, de garantir les paiements (y compris les micro-paiements) des contenus, des biens et des services, en tenant compte des législations nationales et du rôle des établissements financiers ;
- la propriété intellectuelle des fichiers doit être protégée.

Les principales fonctions à assurer pour répondre à ces multiples exigences peuvent se décliner de la manière suivante :

- Sécurité des transactions : les principales fonctions à traiter sont l'identification et l'authentification des participants, la garantie de la confidentialité, le contrôle de l'intégrité (à base d'empreinte) des données et la gestion de la communauté des utilisateurs (autorisation d'accès général ou restreint…) ; les mécanismes de cryptographie à clé publique certifiant la transaction grâce à l'utilisation de signatures électroniques tout en assurant la confidentialité par le chiffrement des données, entraînent le recours à des tiers de certification, autorités indépendantes de dimension mondiale ; une fonction d'audit permet notamment de repérer les tentatives d'intrusion.

- Sécurité face au piratage et à la contrefaçon : pour contribuer à défendre le droit d'auteur et pour rétribuer à leur juste valeur les œuvres numériques, il est indispensable de mettre en place une protection des fichiers contre le piratage en introduisant dans les textes, sons, images, une information non apparente (watermark) qui résiste aux codage, transmission, ou compressions ; ce filigrane numérique renseigne sur la propriété des fichiers et les usages que l'on fait des copies mises sur les réseaux IP.

Le passage à l'euro pour les particuliers en 2002 et la généralisation de l'utilisation de la carte à mémoire (en intégrant la notion de porte-monnaie électronique) au plan international devraient accélérer l'harmonisation des systèmes liés à la sécurité sur Internet.

Liens (autres que les mentions en italiques de la grille ci-dessous) :

- ***objets communicants autonomes (identifiants intelligents, étiquettes)***
- ***techno. logicielles pour les systèmes temps réel ou contraint***
- ***techno. logicielles pour le transport de données***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Télécom-	- Paiement en ligne (avec ou sans lecteur de carte à puce)	- Identification	**Technologies**	- Infrastructures de clés	- Cryptologie

munications - Banque - Défense - Commerce (BtoB, BtoC) - Tous secteurs utilisant Internet	- Facturation - Téléchargement - *Assistants digitaux portables* - *Outils de santé à la disposition des consommateurs* - *Intermédiation et intégration de services pour l'Internet du futur* - *Méthodes de marketing liées à l'utilisation des TIC* - *Supply chain management* - *Soutien logistique intégré*	- Authentification - Adressage - Confidentialité - Anonymat - Contrôle d'accès - Intégrité des données - Certification, non répudiation - Traçabilité - Audit - Autorisation ou non de duplication - Protection de la propriété intellectuelle	**logicielles pour la sécurité des réseaux**	publiques - Protocoles - SSL (Secure Socket Layer) - SET - Embrouillage - Cryptage - Watermarking - Tatouage - Signature électronique	- Electronique - Informatique logicielle

21 - Intermédiation et intégration de services pour l'Internet du futur

Le rapport du RNRT sur l'Internet du futur a insisté sur le caractère prioritaire du rapprochement entre l'information et son usage, grâce à l'intermédiation. Internet doit ainsi permettre de partir de sources d'information hétérogènes pour répondre presque individuellement à des besoins diversifiés.

Sur le plan technique, le développement d'Internet – qui passe notamment par celui de l'intermédiation et de l'intégration de services, ainsi que par la qualité de service sur IP – nécessite la mise au point et la mise en œuvre :

- d'aspects relevant de technologies déjà évoquées par ailleurs, en particulier :
  - l'administration des flux d'information à distance, en intégrant les voies de routage et de filtrage des flux IP,
  - le contrôle d'accès,
- des réseaux de serveurs intermédiaires ou serveurs-caches, permettant la diffusion optimale des contenus multimédia,
  - des butineurs (browsers) de seconde génération, permettant la consultation de pages composites, combinant des sources hétérogènes,
  - l'organisation de la communication entre les flux de données et leur présentation cohérente sur des plates-formes de consultation diversifiées (WML, WAP...),
  - des protocoles standardisés de communication inter-applicative, permettant d'intégrer des sources d'informations multiples dans des interfaces utilisateurs simples et universelles ;
- de technologies spécifiques, telles que :
  - des logiciels de suivi de la navigation personnalisée des utilisateurs,
  - des logiciels de comptabilisation et d'imputation des flux multi-serveurs, notamment par la compensation et le paiement en ligne.

Liens : cf. les mentions en italiques de la grille ci-dessous.

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
Tous secteurs concernés par Internet	- Consultation Internet de données multimédia (films) - Commerce électronique - Gestion des communautés virtuelles - Délocalisation du lieu de travail, travail coopératif - Broadcast TV - Visioconférence - Jeux en ligne - ASP (application service provider) - Télémédecine - *Outils de santé à la disposition des consommateurs* - *Méthodes de marketing liées à l'utilisation des TIC* - *Ingénierie concourante* - *Outils de personnalisation de la relation client* - *Offre de produits et de services de grande consommation à base de réalité virtuelle*	**Intermédiation et intégration de services pour l'Internet du futur**	- Systèmes de navigation pour services multimédias, en particulier navigateurs / butineurs - Interfaces graphiques client légères - Applications en ligne - Bases de données de gestion des flux Internet / Web - *Techno. logicielles de l'informatique distribuée* - *Techno. logicielles de la langue et de la parole* - *Techno. logicielles pour le transport de données* - *Techno. logicielles pour la sécurité des réseaux* - *Techno. logicielles pour la gestion des données et du contenu* - *Infrastructures pour réseaux dorsaux haut débit* - *Techno. de boucle locale* - *Grands serveurs* - *Transmission temps réel de contenus multimédia* - *Systèmes auteurs pour la création de contenu multimédia*	- Normalisation du dialogue entre les différents équipements de consultation et les services fournisseurs de contenu, XML, WAP - Ergonomie - Compréhension de la requête - Programmation en ligne - Prototypage - Protocoles - IP multicast (diffusion grande échelle sur Internet) - Allocation de ressources de bande passante - Architecture réseau - … Et divers autres points critiques relevant des technologies citées ci-contre et évoquées par ailleurs	- Informatique logicielle - Informatique générale - Télécom-munications

22 – Grands serveurs

Le développement exponentiel de l'Internet et des applications en ligne accessibles à des millions d'usagers va se traduire par un accroissement de la demande de grands serveurs capables de prendre en compte un très grand nombre de transactions (y compris sur du contenu multimédia) ou d'explorer de très grandes bases de données (data warehouses).

L'innovation technologique devra notamment permettre à ces serveurs :

- de mettre en œuvre un très grand nombre de processeurs,
- d'atteindre un niveau très élevé de disponibilité,
- d'assurer une forte modularité de croissance des performances (l'utilisation pour Internet se traduisant par d'importantes fluctuations de charge).

Un environnement logiciel devra assurer la gestion des transactions (fonction moniteur transactionnel organisant l'accès concurrent aux données) ainsi que des outils nécessaires à la recherche de l'information (fonction indexation, fonction requête d'interrogation et fonction présentation).

Les réseaux de distribution des contenus multimédia (CDN : Content Delivery Network) nécessitent la mise au point de serveurs intermédiaires ou serveurs caches permettant la décentralisation de la gestion des flux et l'interfaçage optimisé des contenus stockés et des requêtes des utilisateurs.

Liens (autres que les mentions en italiques de la grille ci-dessous) :

- ***techno. logicielles pour la gestion des données et du contenu***
- ***techno. logicielles de l'informatique distribuée***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Télécom-munications - Médias - Défense - Tous secteurs utilisateurs de services Internet ou concernés par le commerce électronique	- Fourniture d'accès Internet - Applications en ligne (ASP : application service providers) - Data warehouses - Commerce électronique - Consultation Internet de données multimédia (films) - Supervision de réseau - Télésurveillance - Gestionnaire de données - Jeux en ligne - Vidéoconférence - *Infrastructures pour réseaux dorsaux haut débit* - *Transmission temps réel de contenus multimédia* - *Réalité virtuelle augmentée…* - *Intermédiation et intégration de services pour l'Internet du futur* - *Supply chain management*	- Prise en compte d'un très grand nombre de transactions (y compris sur du contenu multimédia) - Exploration de très grandes bases de données - Gestion des flux multimédia et interfaçage optimisé des contenus stockés et des requêtes des utilisateurs - Rapidité de traitement - Livraison de contenus riches	**Grands serveurs**	- Gestion du parallélisme sur les systèmes d'exploitation disponibles (NT, linux) - Architectures parallèles et redondantes - Réseaux internes d'interconnexion rapide à cohérence de cache - Rapidité des processeurs - *Techno. logicielles pour les systèmes temps réel ou contraint*	- Informatique générale - Informatique logicielle - Micro-électronique

23 - Transmission temps réel de contenus multimédia

La transmission temps réel, sur réseaux de données, de contenus multimédia de haute qualité (images 3D) et de flux audiovisuels suppose la mise en œuvre de 5 technologies différentes, dont les 3 premières sont évoquées par ailleurs :

- serveurs vidéo,
- protocoles pour la qualité de service sur IP,
- algorithmes de compression / décompression multimédia efficaces (trouvant leur place dans les serveurs, les terminaux de type set top box ou PC et les équipements d'accès aux réseaux) : MPEG2, MPEG-4 (basé sur la notion d'objets et contenant des fonctions de scalabilité permettant d'adapter la qualité d'images aux capacités du récepteur), nouvelles technologies de codage (ondelettes, fractales, MPEG-21),
- terminaux intègrant de façon efficace les différents algorithmes et une interface homme-machine la plus conviviale possible, tout en restant à un coût compatible avec une diffusion grand public : Set Top Box, TV ou terminaux portables,
- logiciels de gestion, de stockage, d'adressage et de diffusion de l'information.

Liens (autres que les mentions en italiques de la grille ci-dessous) :

- ***techno. logicielles de réalité virtuelle***
- ***réalité virtuelle augmentée pour la conception architecturale et technique***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

	émergence	croissance	maturité
Technologie		croissance	
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

	forte		moyenne	faible	inexistante
France					
Europe					

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

	forte	moyenne	faible	inexistante
France		moyenne		
Europe		moyenne		

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
Professionnel, dont : - Santé - Industries de commu-nication - Télécom-munications Grand public	- Télévision numérique - Vidéo-surveillance - Visio-conférence - Jeux vidéo en ligne - Chirurgie et diagnostic en ligne - *Systèmes auteurs pour la création de contenu multimédia* - *Intermédiation et intégration de services pour l'Internet du futur* - *Réseau domestique numérique* - *Ingénierie concourante* - *Outils de santé à la disposition des consommateurs* - *Offre de produits et de services de grande consommation à base de réalité virtuelle*	**Trans-mission temps réel de contenus multimédia**	- Terminaux grand public - *Infrastructures pour réseaux dorsaux haut débit* - *Techno. logicielles pour le transport de données* - *Technologies de boucle locale* - *Grands serveurs* (sons, images, 3D) - *Assistants digitaux portables*	- Rapidité des processeurs - Protocoles de diffusion (IP multicast) - Protocoles de communication - Allocation de ressources - Interfaces de navigation - Compression / décompression multimédia - Gestion voies montante / descendante - … Et divers autres points critiques relevant des technologies citées ci-contre et évoquées par ailleurs	- Informatique logicielle - Informatique générale - Télécom-munications

24 – Technologies logicielles pour la gestion des données et du contenu

Avec le développement d'Internet, notamment, on assiste à une croissance exponentielle de la masse des données théoriquement disponibles pour l'utilisateur. En fait, cela ne se traduit pas automatiquement par un accroissement de l'information accessible, dans la mesure où l'on peut dire que celle-ci résulte de la combinaison d'au moins trois éléments : les données, la structuration de ces dernières et la capacité d'en extraire ce dont un utilisateur donné a besoin à un moment donné. La maîtrise de ces deux derniers éléments constitue donc un enjeu technologique essentiel pour l'industrie du logiciel et pour tous les secteurs utilisateurs.

C'est ainsi, notamment, que le perfectionnement des moteurs de recherche et des techniques d'indexation est fondamental pour le développement des services en ligne.

En dehors de celles qui caractérisent l'informatique distribuée (évolutivité, portabilité des données par rapport à la diversité des applications et des équipements), les principales attentes concernent la pertinence et l'exhaustivité de l'information obtenue, ainsi que l'ergonomie (notamment dans la formulation des requêtes et la présentation de l'information).

Entre autres points technologiques critiques, on citera le standard XML, qui, à terme, permet une vision homogène et unificatrice de l'ensemble des données accessibles sur Internet et pour lequel des recherches restent à faire (langages de requêtes adaptés, re-formateurs de données existantes au format XML…).

Liens (autres que les mentions en italiques de la grille ci-dessous) :

- ***techno. logicielles de l'informatique distribuée***
- ***grands serveurs***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Télécom - Services en ligne - Défense - Finance - Industrie - Education, formation - Tous secteurs utilisateurs d'un volume important de données	- Veille économique - Sécurité, contrôle qualité - *Systèmes auteurs pour la création de contenu multimédia* - *Capteurs de vision / capteurs d'image* - *Assistants digitaux portables* - *Capteurs intelligents* - *Modélisation complète de la transformation des matériaux et intégration dans des bases de données* - *Ingénierie concourante* - *Robotique mobile en milieu hostile* - *Outils de gestion et d'évaluation des risques environnementaux et sanitaires* - *Outils de personnalisation de la relation client* - *Outils de santé à la disposition des consommateurs* - *Design sensoriel y compris la métrologie sensorielle* - *Intermédiation et intégration de services pour l'Internet du futur* - *Méthodes de marketing liées à l'utilisation des TIC* - *Systèmes d'organisation et gestion industrielle améliorés* - *Formalisation et gestion des règles métiers* - *Outils d'aide à la créativité* - *Représentation de la perception du consommateur* - *Simulation, modélisation du comportement humain* - *Multi-représentation des objets virtuels* - *Simulation numérique des procédés* - *Représentation et gestion des processus de l'usine numérique* - *Supply chain management* - *Soutien logistique intégré*	- Stockage, gestion, structuration de données et de contenu multimédia - Recherche, analyse, tri, structuration, synthèse et présentation de l'information - Ergonomie (interface sans clavier, formulation des requêtes…) - Organisation, valorisation, enrichissement et mise à jour des bases de données	**Technologies logicielles pour la gestion des données et du contenu**	- *Techno. logicielles de la langue et de la parole* (analyse et compréhension du langage naturel, plurilinguisme…) - Reconnaissance et analyse d'images 2D /3D - Reconnaissance de l'écriture - XML - Fouille de données (data mining) - Indexation - Formulation et compréhension de la requête - Butineurs (browsers) de seconde génération - Interface utilisateur adaptable (profil d'utilisateur) - Agents - Base de connaissances - Systèmes à base de règles - Annuaires	- Intelligence artificielle - Linguistique (traitement sémantique) - Reconnaissance des formes - Informatique logicielle - Statistiques - Raisonnement logique - Modélisation - Réseaux de neurones - Télécom-munications

25 - Systèmes auteurs pour la création de contenu multimédia

Les systèmes auteurs ont pour objectif d'apporter une assistance à la création de contenus multimédia.

Ils mettent en œuvre les principes du génie logiciel (structuration, modularité, prototypage des applications) et utilisent également d'autres technologies logicielles traitées par ailleurs.

Les principales fonctions sont l'acquisition et la digitalisation des contenus, l'édition et la composition, la scénarisation du document, la synchronisation des médias (sons, vidéo, animation) ou encore la mise en place de fonctions pédagogiques qui gèrent un profil de l'utilisateur pour adapter le contenu. Les nouvelles générations de systèmes auteurs doivent prendre en compte l'utilisation des contenus via les réseaux pour proposer des fonctions de consultation en groupe et de synchronisation des interventions.

- ***Liens (autres que les mentions en italiques de la grille ci-dessous) : techno. logicielles de réalité virtuelle.***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Enseignement, Formation professionnelle - Communication, Médias - Grand public, loisirs - Tous secteurs utilisateurs de services en lignes	- Réalisation de CD-ROMS et services en ligne - *Offre de produits et de services de grande consommation à base de réalité virtuelle* - *Outils de santé à la disposition des consommateurs* - *Intermédiation et intégration de services pour l'Internet du futur*	**Systèmes auteurs pour la création de contenu multimédia**	- *Génie logiciel* - *Techno. logicielles de l'informatique distribuée* - *Techno. logicielles de la langue et de la parole* - *Techno. logicielles pour la gestion des données et du contenu* - *Transmission temps réel de contenus multimédia*	- Portabilité des contenus sur support Internet - Capacité de gestion du profil de l'utilisateur - Capacité d'adaptation à l'utilisateur - … Et divers autres points critiques relevant des technologies citées ci-contre et évoquées par ailleurs	- Pédagogie - Informatique logicielle

26 – Technologies logicielles de réalité virtuelle

La simulation, le design, la CAO, mais aussi les jeux vidéo, les didacticiels ou encore le cinéma sont à l'origine d'importants besoins d'images et de sons de synthèse (2D et 3D) et, plus largement, de réalité virtuelle.

Dans ce domaine, les technologies essentielles sont les serveurs (évoqués par ailleurs), les dispositifs d'imagerie et, surtout, le logiciel. S'agissant de dernier, on citera, parmi les points technologiques critiques :

- en premier lieu, la synthèse d'images,
- mais aussi la synthèse de sons, dont les paramètres clés sont la coordination image/son et la perception différente du son selon la position de l'auditeur, la forme de la pièce et le déplacement de la source sonore.

Les techniques de réalisation sont enrichies grâce aux apports de différentes disciplines : simulation, cinématographie, post-production vidéo…

La problématique de la réalité virtuelle est fortement liée à celle de deux technologies traitées par ailleurs : la transmission temps réel de contenu multimédia (standards de compression…) et les systèmes auteurs pour la création de contenu multimédia.
La France est bien positionnée sur le marché mondial des jeux et didacticiels, qui a dépassé en 1999 celui du cinéma.

Liens (autres que les mentions en italiques de la grille ci-dessous) :

- ***transmission temps réel de contenu multimédia***
- ***systèmes auteurs pour la création de contenu multimédia***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Média,	- Jeux vidéo	- Réalité virtuelle	- **Technologies**	- Synthèse d'images 2D / 3D	- Informatique

Communication - Secteurs manufacturiers - Education et formation professionnelle - BTP	- Didacticiels - CAO - *Ingénierie concourante* - *Robotique mobile en milieu hostile* - *Réalité virtuelle augmentée pour la conception architecturale et technique* - *Ergonomie de l'interface homme-machine (pilotage de véhicules ou d'installations)* - *Offre de produits et de services de grande consommation à base de réalité virtuelle* - *Représentation de la perception du consommateur* - *Simulation, modélisation du comportement humain* - *Simulation numérique des procédés* - *Représentation et gestion des processus de l'usine numérique* - *Prototypage rapide* - *Soutien logistique intégré*	- Présentation de contenu multimédia ludo-éducatif - Génération d'univers virtuels (images et sons 2D et 3D) - Simulation	**logicielles de réalité virtuelle**	- Synthèse sonore spatialisée - Moteur de réalité virtuelle - Synchronisation audio/vidéo - Reproduction des perceptions - Modélisation des géométries - Modélisation des textures - Intégration d'images naturelles	logicielle - Pédagogie - Psychologie de la perception - Simulation numérique multi-échelle - Formalisation de la connaissance

27 – Technologies logicielles de l'informatique distribuée

On vise ici le « middleware » de l'informatique distribuée (sachant que les technologies logicielles nécessaires au transport « physique » des données en sont le complément naturel).

Le développement de l'informatique distribuée est une tendance lourde, qui se trouve au cœur des évolutions en cours dans des domaines aussi divers que l'organisation interne de l'entreprise, le commerce électronique ou le pilotage des différents organes d'une automobile.

Or ce développement entraîne la connexion sur les réseaux de machines, de systèmes d'exploitation et d'applications très différents. La même hétérogénéité se retrouve dans les données échangées. Dans ce contexte, il faut pouvoir faire appel à distance aux fonctions et aux données de n'importe quelles applications sur n'importe quelle machine.

Tel est l'objet du " middleware ". Ce type de logiciel sert à la fois d'intermédiaire entre les applications logicielles différentes et de tampon entre le logiciel d'application et l'architecture du réseau, qu'il essaie de rendre transparente. Le middleware doit également permettre de garantir l'évolutivité du système d'information et de rajouter de nouvelles applications, sans remettre en cause l'existant, tant au niveau matériel que logiciel.

Entre autres points technologiques critiques du middleware de l'informatique distribuée, on citera le standard XML de représentation des données et les protocoles d'échanges associés. XML jouera le rôle d'un format universel, banalisant l'accès à tout type d'information.

Liens (autres que les mentions en italiques de la grille ci-dessous) :

- ***Techno. logicielles pour les systèmes temps réel ou contraint***
- ***Techno. logicielles pour le transport de données***
- ***Techno. logicielles pour la sécurité des réseaux***
- ***Techno. logicielles pour la gestion des données et du contenu***
- ***Grands serveurs***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Tous secteurs concernés par le commerce électronique - Tous secteurs mettant en œuvre un système d'information - Tous secteurs mettant en œuvre des logiciels embarqués	- *Objets communicants autonomes* - *Assistants digitaux portables* - *Systèmes auteurs pour la création de contenu multimédia* - *Réseaux domestiques numériques* - *Grands serveurs* - *Capteurs intelligents* - *Ingénierie concourante* - *Architecture électronique etc. des véhicules* - *Véhicules intelligents et communicants* - *Outils de santé à la disposition des consommateurs* - *Intermédiation et intégration de services pour l'Internet du futur* - *Méthodes de marketing liées à l'utilisation des TIC* - *Systèmes d'organisation et gestion industrielle* - *Représentation et gestion des processus de l'usine numérique* - *Supply chain management* - *Soutien logistique intégré* - Recherche et présentation de l'information - Portails, méta-moteurs - Gestion de la connaissance et des documents - Intégration et coordination des fonctions au sein de l'entreprise - EDI et commerce électronique - Navigateurs, structuration des catalogues - Intégration des systèmes d'information pour le passage au commerce électronique - Aide à la décision - Analyse de situation et déclenchement d'alerte - Travail coopératif	- Intégration d'applications - Portabilité des données par rapport à la diversité des applications, des systèmes d'exploitation et des équipements (terminaux, serveurs, stockage) - Transparence de l'architecture du réseau - Evolutivité du système d'information - Interface utilisateur simple et universelle - Echange de données et documents - Repérage de données dans un espace - Diffusion différenciée et traitement de données - Mise à jour et accès à des bases de données - Jonction avec API - Réception en ligne d'information sur des équipements connectés	- **Technologies logicielles de l'informatique distribuée**	- *Génie logiciel* - Architectures distribuées - Message oriented Middleware - CORBA, RMI, IIOP… - Agents - Couple Java (partage des applications) - XML (partage des données) - Universal plug and play, HAVI, JINI - Protocoles standardisés de communication inter-applicative **Autre point critique :** Normes MHEG	Informatique logicielle

28 - Génie logiciel

Alors même que le logiciel joue un rôle de plus en plus fondamental dans l'économie et la société, il souffre encore de faiblesses préoccupantes, au regard de critères « industriels » classiques, tels que la fiabilité, la productivité ou la facilité de test, de mise en œuvre et de maintenance. L'enjeu de la maîtrise technologique en matière de génie logiciel est donc considérable. Comme l'a bien montré la réflexion des experts, notamment celle qui a été menée dans le cadre du Réseau National de recherche et d'innovation en Technologies Logicielles (RNTL), l'axe prioritaire dans ce domaine réside dans le développement logiciel à base de composants.

Le RNTL analyse ainsi la triple rupture qu'introduit ce concept :

- sur le plan technique, le développement à base de composants amplifie le rôle central des concepts d'architecture et amène l'émergence de nouvelles exigences spécifiques aux composants. En effet, les principes d'architecture retenus pour assembler et faire communiquer les composants déterminent largement les propriétés de l'ensemble ; les composants doivent donc être rigoureusement modélisés et sélectionnés ; en outre, la réutilisation et l'assemblage de composants requièrent de savoir les valider et les certifier et d'en formaliser les propriétés. Ce qui précède s'applique tant aux propriétés fonctionnelles qu'au comportement des composants en présence de fautes, et peut conduire à des architectures tolérantes aux fautes ;
- en matière d'organisation industrielle, cette rupture conduit à une profonde évolution des méthodes de développement de logiciel et des métiers associés. Schématiquement, le développement par assemblage de composants va en effet avoir pour conséquence de renforcer les activités "amont" - spécification et architecture - et "aval" - preuve, test et intégration - du cycle et de réduire la phase de codage au profit d'une activité de recherche, d'approvisionnement, de qualification et d'assemblage de composants ;
- sur le plan économique, l'une des composantes majeures de la profonde mutation que connaît l'industrie du logiciel réside dans le fait que les solutions "propriétaires" développées au cas par cas sont progressivement abandonnées au profit de solutions intégrant des composants sur étagères.

- ***Liens (autres que les mentions en italiques de la grille ci-dessous) : formalisation et gestion des règles métier.***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Industrie du logiciel - Tous secteurs utilisateurs de logiciel	- *Techno. logicielles pour les systèmes temps réel ou contraint* - *Techno. logicielles de l'informatique distribuée* - *Systèmes auteurs pour la création de contenu multimédia* - *Objets communiquants autonomes* - *Assistants digitaux portables* - *Ingénierie concourante*	- Productivité - Fiabilité - Interopérabilité - Facilité de conception, de test, de mise en œuvre, de maintenance - Evolutivité	**Génie logiciel** (notamment développement à base de composants logiciels)	Ingénierie des composants : - Caractérisation et description de composants - Assistance à la construction, au déploiement et à l'assemblage de composants - Test, validation et vérification des composants (approches formelles et semi-formelles ; preuves et simulations) - Réutilisation de composants - Composants à haut niveau de sécurité et de fiabilité - Composants temps réel Architectures logicielles à base de composants : - Représentation et gestion des exigences applicatives - Langages et outils de description d'architecture - Technologies d'infrastructure logicielle - Sûreté de fonctionnement - Assistance à la configuration et au déploiement d'applications - Environnement et outillage de développement Autre point critique : impact de l'approche composants sur les métiers, l'organisation et l'économie du logiciel	- Informatique logicielle - Preuve formelle - Modélisation

29- Ingénierie des grands systèmes complexes

Les grands systèmes complexes, comportant plusieurs dizaines de millions de composants à plusieurs milliards de composants, sont de plus en plus nombreux (puces, systèmes de télécommunications, …). Ils intègrent de plus des programmes informatiques régissant l'interaction de tous ces éléments. Le problème essentiel à résoudre est de concilier correction de la conception et coûts et délais de développement.

Des problèmes nouveaux liés à la dimension se posent :

- Spécifications : définition, vérifications de cohérence, validation,
- Conception : définition de l'architecture solution, cohérence architecture/spécification, cohérence matériel/logiciel, simulation, optimisation, testabilité, environnement de mise au point,
- Fabrication : assemblage, pilotage des machines de fabrication, test,.
- Mise en oeuvre : mises en route, autotest, mesures de fiabilité,
- Evolutions du produit : gestion de la masse d'information, non régression, gestions de configurations.

Les développements concernent les méthodologies (hiérarchisation, standardisation,…), les outils mathématiques (preuve automatique, …), les outils logiciels et le matériel (accélérateurs, environnement de mise au point, testeurs, …).

Liens (autres que les mentions en italiques de la grille ci-dessous) :
mesure et test de systèmes.

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

	émergence	croissance	maturité
Technologie		croissance	
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

	forte		moyenne	faible	inexistante
France					
Europe		moyenne			

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

	forte	moyenne	faible	inexistante
France			faible	
Europe			faible	

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Secteurs industriels - Transports	- Allocation de ressources - Planification - Conception de circuits intégrés - Conception de réseaux	**Ingénierie des grands systèmes complexes**	- Techno. de spécification, de conception, de preuve, d'optimisation, de simulation… - *Techno. logicielles pour les systèmes temps réel ou contraint*	- Superordinateurs - Algorithmes complexes - Programmation par contraintes - Programmation linéaire	- Mathématiques appliquées - Preuve formelle - Recherche opérationnelle - Informatique logicielle

30 - Mesure et test de systèmes

Le besoin de mesure et de test des systèmes ne cesse de s'accroître. Cela est particulièrement vrai pour les systèmes de production industriels, notamment sous la pression de facteurs tels que l'augmentation de la complexité des process et des produits et que les exigences accrues en matière de fiabilité des process et de qualité des produits. Dans ces conditions, les tests et mesures – qui peuvent être couplés au fonctionnement de logiciels intégrés dans les dispositifs – portent à la fois sur le process de fabrication lui-même et sur les produits, aux différents stades de leur fabrication. Mesures et test représentent ainsi une part significative des développements technologiques et des coûts de production dans un certain nombre de secteurs, notamment celui des circuits intégrés.

Liens (autres que les mentions en italiques de la grille ci-dessous) : ingénierie des grands systèmes complexes.

Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Productique (et tous secteurs industriels utilisateurs) - Robotique - Transports - Télécom-munications - Sécurité - Défense - Spatial - Santé - Energie	- Process et systèmes productifs (notamment automatisés) : contrôle, télésurveillance, régulation, diagnostic, détection de dysfonctionnement, maintenance prédictive… - Tests de qualité sortie d'usine - *Microélectronique silicium* - *Sûreté des systèmes (embarqués et d'infrastructures)* - *Systèmes d'organisation et gestion industrielle améliorés* - *Représentation et gestion des processus de l'usine numérique* - *Soutien logistique intégré*	**Mesure et test de systèmes** - Recueil de paramètres physiques, chimiques ou biologiques - Vérification de bon fonction-nement et de conformité	- *Techno. logicielles pour les systèmes temps réel ou contraint* - *Capteurs intelligents* - *Biocapteurs* - *Capteurs de vision / capteurs d'image* - Traitement du signal - Bus de terrain - Multiplexage - Instrumentation - Techno. logicielles spécifiques pour le test de systèmes	- Capacité à traiter et intégrer des données multiples et hétérogènes - Intégration au sein de systèmes électroniques - Interface avec les moyens d'action/décision - Numérisation des données - … Et divers autres points critiques relevant des technologies citées ci-contre et évoquées par ailleurs	- Traitement du signal - Informatique logicielle - … Et divers autres domaines relevant des technologies citées ci-contre et évoquées par ailleurs

Matériaux - Chimie

31 - Alliages de polymères

Les alliages de polymères sont des mélanges physiques ou des associations chimiques d'au moins deux polymères différents et de compatibilisants. On cherche à obtenir des propriétés plus élevées que celles des constituants et/ou une mise en forme plus facile. Il s'agit de combiner des propriétés présentes dans différents polymères selon les applications souhaitées. Les premières applications concernent les pièces de carrosserie automobile. Les pièces sont de 30 à 50 % plus chères qu'en tôle acier mais le gain de poids se situe entre 50 et 60 % et les investissements sont divisés par trois. Comme les technologies mises en œuvre sont celles de la plasturgie, les plasturgistes y voient un moyen d'étendre leurs marchés. D'ici 2005, les alliages de polymères pourraient correspondre à 10% de la production totale de polymères. La croissance de leur marché est de 6 à 8% par an face à 2 à 3% pour les polymères. A terme les alliages de polymères pourraient générer des marchés de masse. L'amélioration des coûts et de la recyclabilité sont en particulier recherchées.

Liens :
- ***recyclage de matériaux spécifiques***
- ***béton à performances optimisées***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	**X**	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	**X**	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	**X**	faible	inexistante
Europe	forte	**X**	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	**X**	faible	inexistante
Europe	forte	**X**	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Transport - Electroménager - Bâtiment - Biomédical	- Disponibilité de matériaux spécifiques aux propriétés étendues - Boucliers, pare-chocs, ailes de voitures	- Résistance mécanique, aux chocs, aux agents chimiques, tenue en température - Tenue au feu / aptitude à retarder la flamme, stabilité à la lumière, stabilité dimensionnelle, aspect mat, faible degré de brillance, aptitude à la peinture, propriétés acoustiques, barrières aux gaz, réduction du poids, mise en œuvre facile	- **Alliages de polymères**	- Caractérisation, prévision structures / propriétés, modélisation des comportements - Conception des alliages, compatibilité - Recyclabilité **Autres points critiques** - Maîtrise des coûts - Maîtrise de la fabrication	- Chimie organique - Sciences des matériaux - Polymères - Modélisation des microstructures

32- Nanocomposites et renforts nanométriques

Il s'agit de matériaux ou de charges de taille nanométrique qui ont ou confèrent des propriétés nouvelles voire inattendues. La très faible taille des particules a deux conséquences majeures, ces matériaux sont quasiment sans défaut et les effets de surface y prennent le pas sur les effets de volume. Les nanotubes de carbone (fullerènes) en très faible quantité (1%) confèrent ainsi une très grande résistance et rigidité aux résines auxquelles ils sont associés dans des composites. Par l'organisation des macromolécules dans l'espace, ils bloquent la déformation. Ils leur confèrent par ailleurs une conductivité électrique qui multiplient les usages (effet "cage de Faraday" antifoudre, blindage électromagnétique). Leur émergence est liée aux progrès des méthodes d'observation. Le problème actuel est majoritairement celui de l'industrialisation, il s'agit de passer du laboratoire à l'intégration industrielle. Les premières applications laissent présumer de fortes potentialités mais il reste encore des incertitudes sur leur développement. Il serait important de favoriser la diffusion des réalisations réussies.

Liens :

- ***techniques de synthèse et de test haut débit***
- ***stockage de l'énergie***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Textile - Bâtiment - Cosmétique - Automobile	- AntiUV transparent - Renfort polymère - Couches dans les peintures	- Renfort - Support - Interfaces - Fonctionalisation des surfaces	- **Nanocomposites et renforts nanométriques**	- Synthèse contrôlée minfrale ou de polymères - Récupération après synthèse (floculation sans agrégation) - Mélange et dispersion homogène dans une matrice organique ou inorganique **Autres points critiques** - Coût	- Synthèse minérale et de polymères - Sciences des surfaces - Calcul

33 - Matériaux pour systèmes avancés (piézo-électriques, ferroélectriques et magnétiques)

Les matériaux ferroélectriques présentent une polarisation électrique spontanée ; les matériaux piézo-électriques, une polarisation sous l'action d'une contrainte mécanique. Ces matériaux sont capables de s'auto-adapter à l'environnement. En réaction à une sollicitation extérieure naturelle ou provoquée, ils modifient leur forme, leurs propriétés physiques, leurs dimensions. Associés à des capteurs et à une source d'énergie, ils permettent d'envisager la conception de systèmes avancés dans des domaines très variés tels que l'autodiagnostic, le contrôle actif de vibrations et éventuellement l'autoréparation. Ces systèmes sont utilisés pour le contrôle de procédés en milieu industriel. Leur évolution est à la miniaturisation et à la simplification de ces systèmes (intégration). Leur développement est conditionné par la résolution des problèmes de vieillissement. Il est limité par le découplage entre chimie et physique dans les domaines de la recherche. Ces matériaux peuvent avoir de nombreuses autres utilisations. La taille limitée des marchés nationaux conduit à envisager l'émergence d'acteurs industriels européens.

Liens : microsystèmes

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	**croissance**	maturité	
Applications industrielles et commerciales	**naissance**	diffusion	généralisation	

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	**moyenne**	faible	inexistante
Europe	forte	**moyenne**	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	**moyenne**	faible	inexistante
Europe	forte	**moyenne**	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Electronique - Automobile - Biens de consommation - Aéronautique et Espace	- Contrôle actif de vibrations - Films et membranes de haut parleurs, transducteurs électroacoustiques - Capteurs piézo-électriques - Amortisseurs - Positionneurs, localisation de systèmes enfouis	- **Matériaux pour systèmes avancés (piézo-électriques, ferroélectriques et magnétiques)**	- Synthèse minérale - MicroTechnologie (capteurs, actionneurs) - Mise en forme des céramiques - Insertion du système adaptatif dans sa structure d'accueil	- Relations structure-propriétés - Nouveaux alliages - Nouveaux diagrammes de phase - Industrialisation - Conception et réalisation de pièces actives de géométrie adaptée	- Physique du solide - Chimie du solide

34 - Matériaux absorbants de chocs, de vibrations, de bruit, de chaleur

Les matériaux absorbants contribuent à la sécurité et à la qualité de la vie. Leur développement se fait en interaction avec la mise en place de normes et de réglementations pour la protection de l'environnement, la sécurité,…. Les matériaux à structure interne (présentant une organisation de la matière dans le volume tels que les mousses, alvéoles, nids d'abeille,..) répondent à ces exigences. Dans le transport il s'agit de développer des matériaux à haute résistance mais aussi de concevoir des structures qui permettent d'absorber l'énergie due aux chocs. Les panneaux de structure des véhicules doivent absorber l'énergie du choc en cas de collision grave, le plus souvent par froissage. Ainsi les pare-chocs font de plus en plus appel à des composites à matrices polymères ou à des alliages de polymères.

Liens :
- ***réduction des bruits***
- ***systèmes performants pour enveloppe de bâtiment***
- ***béton à performances optimisées***
- ***amélioration du coût et des performances des lanceurs spatiaux***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance		maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion		généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne		faible	inexistante
Europe	forte	moyenne		faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Automobile, - Aéronautique - Bâtiment construction - Electro ménager - Défense	- Structures de voitures, de trains, Carters (réduction du bruit solidien), Murs anti bruit, Cloisons frigorifiques et thermiques, Isolants (thermique, sonore), Ceinture de sécurité	- **Matériaux absorbants (chocs, vibrations, bruits, température, ..)**	- Polymères et élastomères - Matériaux à structures internes - Alliages légers	- Transition d'états, interactions entre phases, transmission d'ébranlements - Nouveaux matériaux et nouvelles mises en forme - Définition et réalisation de la géométrie du matériau et de l'assemblage, collage - Modélisation et caractérisation des comportements absorbants	- Chimie des polymères - Mécanique instationnaire - Acoustique - Physique des matériaux - Physique vibratoire - Calcul - Thermique - Génie des procédés

35 - Matériaux pour procédés en milieux extrêmes (hautes températures, froid, …)

Ces matériaux résistent à la corrosion (cas des réfractaires) et/ou conservent leurs propriétés mécaniques (résistance au fluage, à la fatigue, éventuellement aux chocs thermiques…) en milieux extrêmes. Les matériaux utilisés sont pour la plupart très difficiles à mettre en œuvre et leur fabrication recourt à divers procédés à haute température (fusion, métallurgie des poudres, infiltration de préformes pour les composites). Ces matériaux sont généralement des métaux et des céramiques, massives ou composites.

Leur développement est conditionné par les nouvelles applications et les nouveaux marchés et pourrait être aidé en facilitant les démonstrations technologiques.

Liens :

- ***moteurs thermiques***
- ***amélioration du coût et des performances des lanceurs spatiaux***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Acoustique - Transport - Bâtiment - Armement - Energie - Biens d'équipement	- Parties chaudes, moteurs, turbines, chaudières - Elaboration des matériaux - Traitements des déchets - Résistance aux rayonnements, à la pression	- **Matériaux pour procédés en milieux extrêmes (hautes températures, froid,...)**	- Fonderie - Forge - Métallurgie des poudres - Métallurgie - Céramiques et réfractaires - Carbone	- Disponibilité des matériaux - Procédés d'élaboration - Corrosion - Liaisons - Chocs thermiques Expérimentation, essais	- Sciences des matériaux - Chimie des matériaux - Mécanique

36 - Fibres textiles fonctionnelles

Les fibres textiles fonctionnelles sont susceptibles de conférer aux tissés et aux non-tissés des fonctionnalités et des caractéristiques nouvelles (couleur, aspect, pouvoir couvrant, anti-transpiration, toucher agréable, entretien facile, résistance à la lacération, au feu,…). Les nouvelles fibres textiles sont soit des fibres classiques (d'origine végétale, animale ou chimique) optimisées, soit des matières nouvellement présentées sous forme de fibres, soit enfin issues du filage de nouveaux polymères. Les fibres et les techniques de mise en œuvre permettent d'obtenir une grande variété de produits semi-finis ou finis ayant des fonctionnalités spécifiques de mise en œuvre, d'usage, d'entretien, d'élimination ou de recyclage. Ces propriétés sont « programmées » dans le procédé de production ou de transformation. Les usages correspondent à des besoins techniques et aux tendances de la consommation et de la mode. Les coûts restent encore importants pour envisager une diffusion de masse même si certains marchés sont déjà en démarrage significatif.

Liens : systèmes performants pour enveloppe de bâtiment

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Textile (habillement, à usage technique, ..) - Médical	- Textiles anti-UV, anti-acariens, respirants, imperméables, iridescents - Garnissage automobile Combinaison de cosmonautes, toitures en textile enduit, antiseptique par greffage,	- **Fibres textiles fonctionnelles**	- Additifs polymères - Additif électronique - Filage - Ajout de matière active (incorporation au sein de la fibre,...) - Traitement de surfaces - Encapsulation	- Filage des matériaux composites sans destruction des matières actives du fait de la température, par exemple par diminution des temps de séjour - Résistance au lavage - Mise en œuvre	- Chimie - Chimie des surfaces - Acoustique

37 - Catalyseurs

La catalyse (hétérogène, homogène ou enzymatique) améliore la vitesse et la sélectivité ou déclenche des réactions chimiques, pour transformer des composés chimiques (oléfines, hydrocarbures saturés, alcool…) en d'autres composés de plus haute valeur ajoutée (polymères, hydrocarbures aromatiques, aldéhydes) ou pour les fonctionnaliser en composés de moindre toxicité (transformation des gaz d'échappement en gaz carbonique, azote et vapeur d'eau, par exemple). L'enjeu actuel est la mise au point de nouveaux catalyseurs ayant des plus fortes performances (activité, sélectivité) et présentant moins des problèmes de dépollution des effluents. La catalyse hétérogène est ainsi privilégiée.
Leur développement est lié à des incitations financières en particulier en relation avec des réglementations en faveur de la protection de l'environnement.
La catalyse correspond à une part importante de la chimie de spécialités.

Liens : élimination des métaux lourds dans les boues et les effluents

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Chimie - Pétrole - Matériaux - Automobile	- Pétrochimie - Procédés (synthèses chimiques, dépollution, épuration des fumées, ..) - Pots catalytiques	- Catalyse	- **Catalyseurs**	- Amélioration des performances (activité, sélectivité) - Dépollution	- Catalyse - Synthèse minérale et organique

38 - Ingénierie et traitement des surfaces

L'ingénierie des surfaces regroupe la caractérisation des propriétés, la fonctionnalisation des surfaces, la conception et le choix des revêtements de surface multifonctions et inclut la problématique environnement (substitution des solvants, Technologie propres en traitement, décapage et revêtement des matériaux). Transversal et de fort poids économique, elle nécessite une approche pluridisciplinaire et ses réalisations conditionnent le succès de nombreuses Technologie telles que le collage. Les traitements multifonctions consistent à superposer différents traitements. Les techniques de nettoyage sans effluents sont d'autant plus importantes que des législations ou des accords internationaux prévoient le remplacement des solvants chlorés. Les techniques mises en œuvre permettent le nettoyage, dégraissage, décapage, ébavurage et défluxage sans utilisation de composés organiques volatils aussi bien en phase de préparation des pièces avant traitement qu'en phase de nettoyage après traitement ou utilisation. L'évolution actuelle est à la diminution des rejets. La faible capacité des industriels du secteur à supporter les investissements nécessaires et à intégrer les nouvelles technologies limite les évolutions. Les besoins actuels sont liés à l'évaluation du niveau des équipements et l'harmonisation européenne (normalisation).

Lien : élimination des métaux lourds dans les boues et les effluents

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte		moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Mécanique - Automobile - Electro ménager - Textile et cosmétique - Travaux publics - Bâtiment - Aéronautique - Electronique, optique	- Lavage, dégraissage et collage, Protection contre l'usure, l'abrasion et la corrosion, Tenue à chaud, au grippage, Réduction des frottements - Peintures résistant au lessivage, papier résistant à l'eau	- Amélioration de l'aspect, adaptation au milieu et aux conditions d'emploi, mise en œuvre de Technologie propres, choix des couples matériaux – traitement, analyse des sollicitations, (usure, frottement, fatigue), équilibre de la balance hydrophobie / hydrophilie - Nouvelles propriétés tribologiques, tactiles, compatibilisation	- **Ingénierie et traitement des surfaces**	- Bases de données matériaux – traitements, modélisation des comportements, caractérisation des surfaces et des couches fines, interaction surface avivée – milieu extérieur, déchets et effluents, analyses rapides des surfaces, interfaces , prévision structure-propriétés, **Autres points critiques** - Coût d'entrée et frein des Technologie existantes	- Sciences des matériaux - Ingénierie de process - Physico-chimie des surfaces - Chimie des solvants et des polluants, Tribologie, Calcul

39 - Procédés biotechnologiques et biomimétiques de synthèse de minéraux et polymères

Il s'agit de trouver des voies de synthèse de matériaux polymères ou minéraux

1- biochimiques, par la fermentation, le génie enzymatique,... qui respectent plus l'environnement et qui utilisent des matières premières végétales
2- biomimétiques qui donnent accès à des matériaux nouveaux (minéraux).

L'enjeu est de rester compétitif en particulier face à l'industrie américaine et de développer des innovations qui généralisent l'usage industriel de matières premières d'origine végétale. Ce fut le cas des biopolymères pour la protection de l'environnement.

Il reste de nombreux verrous technologiques qui ne seront levés que par un travail pluridisciplinaire.

Liens : organes bio-artificiels

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Médical - Pharmacie - TExtile - Chimie - IAA - Papéterie	- Laques - Matériaux bio-compatibles, bio-résorbables, bio-dégradables - Nouveaux matériaux peu denses à structure interne (en nids d'abeille) - Textile en fils d'araignée	- Synthèse de matériaux, minéraux ou polymères nouveaux - Protection de l'environnement	- **Procédés biotechnologiques et biomimétiques de synthèse de minéraux et polymères**	- Microbiologie dirigée	- Biologie - Biotechnologie - Génie enzymatique - Chimie des polymères - Chimie minérale

40 - Procédés de mise en œuvre et de formulation de la matière molle

L'objectif est d'optimiser, pour les industriels utilisant les composés et matières issus de l'industrie chimique, le couple formule- procédé pour une valeur d'usage déterminée.

L'Europe possède une avance sur le Japon et les USA. Les savoirs encore empiriques se sophistiquent, il reste des problèmes lors des changements d'échelle.

Un enjeu important réside dans la diffusion de l'information auprès des industriels.

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Santé - Cosmétique - Alimentaire - Pneumatique	- Procédés de compoundage - Procédés de formulation - Formulation des crèmes, produits cosmétiques, élastomères vulcanisables à chaud - Galénique	- Mise en œuvre permettant la propriété d'usage et/ou des formulations moins chères et/ou optimisées - Nouvelles propriétés d'usage	- **Procédés de mise en œuvre et de formulation de la matière molle (émulsion suspension, compoundage)**	- Relation entre les trois dimensions 1/ procédés 2/ physico chimie 3/ propriétés d'usage	- Génie chimique - Physico-chimie des fluides aqueux complexes - Génie des procédés

41 - Elaboration de composites à matrice organique

Les composites à matrice organique sont composés d'une matrice polymère et d'un renfort pouvant se présenter sous forme de particules, de fibres courtes ou longues,… Ils permettent la réduction du poids, l'amélioration de la résistance à la fatigue, la réduction des coûts de maintenance et de fabrication des pièces de structure pour les automobiles, avions, missiles, véhicules spatiaux, ponts, bâtiments, derricks de pétrole et autres structures. Ils contribuent de ce fait aux questions d'environnement.

Les enjeux actuels concernent la réduction du coût, le développement de nouvelles applications par transfert entre secteurs d'applications ainsi que le passage à la fabrication en très grande série.

Liens :

- ***recyclage de matériaux spécifiques***
- ***stockage de l'énergie***
- ***amélioration du coût et des performances des lanceurs spatiaux***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Santé - Armement - Habitat - Automobile, aéronautique, espace - Sport	- Carrosserie - Pales d'hélicoptères - Grues - Revêtements - Articles de sport	- Allègement des structures - Réalisation de formes complexes - Résistance - Tenue à la corrosion - Propriétés anisotropes	- **Elaboration de composites à matrice organique**	- Durée du cycle de réalisation, Retouches / réparations, Prévisions des durées de vie - Fiabilité et reproductibilité Points critiques non technologiques : - Absence de filière de recyclage	- Chimie des polymères - Mécanique des composites (interface fibres - matrice)

42 - Surveillance intelligente de l'élaboration et de la mise en œuvre des matériaux

L'amélioration et la complexification des procédés d'élaboration et de mise en œuvre des matériaux demandent de développer une capacité de pilotage intelligent grâce au développement de mesures et modèles opérationnels : il s'agit en fait de développer des mesures et des modèles opérationnels pour le pilotage des procédés dans l'optique de respecter des consignes ou proposer à l'opérateur des stratégies d'adaptation. Ceci permet l'amélioration de la qualité des produits ainsi que la réduction des cycles de mise en œuvre. Ces développements nécessiteraient de faire travailler ensemble différents spécialistes autour de projets pluridisciplinaires. Il y a aujourd'hui un déficit en formation et en laboratoires de recherche travaillant sur ce thème. Il serait nécessaire de financer des actions concertées entre industriels et recherche publique et/ou de favoriser des regroupements d'industriels sur ce thème et/ou d'inciter les industries *hi-tech* à investir sur ce thème.

Liens :

- ***formalisation et gestion des règles métiers***
- ***réalité virtuelle augmentée pour la conception architecturale et technique***
- ***amélioration du coût et des performances des lanceurs spatiaux***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Métallurgie Mécanique (forge, fonderie) - Traitement de surfaces	- Procédés de transformation des matériaux - Procédés chimiques de base ou spécialités - Fonderie d'alliages légers pour l'automobile	- **Surveillance intelligente de l'élaboration et de la mise en œuvre des matériaux**	- Analyse physico chimique rapide, Contrôle CND, Capteurs, Spectroscopies de tout type, Contrôle-commande, Systèmes à base de connaissance	- Environnement de mesure, modélisation, pilotage réactif (capteurs), mesures in situ et à haute température, connaissance des diagrammes de phase, représentation de la connaissance et de l'expertise	- Mesures, calcul, analyse du signal, optique, thermique, physique des rayonnements, informatique / interfaces, logique floue, thermodynamique, génie des procédés, génie cognitif

43 - Evaluation non destructive de l'endommagement des matériaux et des assemblages

La modélisation et le suivi permanent de l'état des matériaux et des assemblages pendant leur durée de vie améliore la disponibilité et la fiabilité des systèmes qui les incorporent et réduit leur coût d'exploitation. La caractérisation et la surveillance de l'endommagement nécessitent la mise en place de méthodes et de moyens de contrôle (capteurs notamment) ; elles comprennent : la surveillance des éléments constitutifs d'un système, la description de l'évolution de leur vieillissement, la surveillance de leur taux d'endommagement et la synthèse de ces différentes informations. Cela permet, entre autres, la prévention de pannes subites. La maintenance d'une installation n'est donc plus faite de façon curative, c'est-à-dire après apparition d'une panne, mais de façon préventive. Ce suivi est demandé par la réglementation en particulier pour des questions d'environnement et contribue à la sûreté de fonctionnement. Son développement passe par la mise au point de capteurs et de méthodes permettant si possible de retracer l'historique des sollicitations auxquelles le matériau a été soumis ou du moins d'identifier son état instantané. Il s'agit de favoriser le couplage entre les méthodes de CND et les études mécaniques.

Liens :
- ***sûreté des systèmes (embarqué et infrastructure)***
- ***techniques de diagnostic des structures***
- ***amélioration du coût et des performances des lanceurs spatiaux***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

	émergence	croissance	maturité
Technologie			

	naissance	diffusion	généralisation
Applications industrielles et commerciales			

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

	forte	moyenne	faible	inexistante
France				
Europe				

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

	forte	moyenne	faible	inexistante
France				
Europe				

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Mécanique - Transports - Chaudronnerie - Levage Manutention - Génie civil - Nucléaire	- Contrôle périodique - Prévisions des avaries - Assemblages - Evaluation de la durée de vie résiduelle / restante - Récipients à pression	- **Evaluation non destructive de l'endommagement des matériaux et des assemblages**	- Interprétation du signal - Analyse et mesure des contraintes - CND (ultrasons, radioscopie / graphie, thermographie, IRM,…)	- Expérimentation lourde - Modélisation et connaissance des structures et textures (calcul d'endommagement) - Détection et interprétation de faibles discontinuités du signal (reconstruction 3D) - Relations entre les anomalies et l'affaiblissement	- Emission acoustique - Analyse par rayonnement - Essais des matériaux - Mécanique de la rupture et de l'endommagement - Corrosion - Informatique, calcul 3D - Approches probabilistes

44 - Fabrication en petites séries à partir de modèles numériques

La fabrication à partir de modèles numériques de pièces métalliques industrielles s'appuie sur les acquis du prototypage rapide. Celui-ci permet de réaliser automatiquement et très rapidement des pièces « prototypes » dont la géométrie et les dimensions sont très proches de celles qu'aura le produit final. Il utilise des logiciels de design industriel commandant des dispositifs de formage de la matière et fait appel à diverses Technologie (avec laser : fabrication par découpe et laminage, stéréolithographie, frittage ; sans laser : dépôt de fil fondu, flashage couche par couche, projection de colle, de cire, ou de plastique). L'application à la fabrication, en particulier pour les pièces métalliques, permet la réduction des séries et la recherche de flexibilité en supprimant des étapes de réalisation des produits. Il subsiste de nombreux problèmes tels que la précision, la porosité et l'état de surface des pièces obtenues. Favoriser les partenariats entre concepteurs et utilisateurs ainsi que la création de start-ups à partir de laboratoires pourrait contribuer à multiplier les applications et à développer l'offre.

Liens : prototypage rapide

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence		croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance		diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne		faible	inexistante
Europe	forte	moyenne		faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible		inexistante
Europe	forte	moyenne	faible		inexistante

Exemple de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Mécanique de petite série	- Prototypes - Outillage pré-série - Moules - Pièces mécaniques spéciales - Production	- **Fabrication en petites séries à partir de modèles numériques**	- Métallurgie des poudres - Laser - Electroplastie - Compression isostatique à chaud - Collage, frittage	- Apport de matières - Apport local d'énergie - Problèmes des pièces de grande dimension - Précision dimensionnelle	- Métallurgie - Optique laser - Thermodynamique - Diagramme de phases

45 - Modélisation complète de la transformation des matériaux et intégration dans des bases de données

Logiciels et bases de données contribuent à l'optimisation de la conception et à l'évolution vers la conception intégrée. Pour concevoir des pièces, définir les appareillages nécessaires à leur mise en œuvre et déterminer les paramètres du procédé, on recourt à des logiciels de modélisation qui permettent de vérifier l'adéquation des moyens (matériaux, procédés, machines de transformation, moules…) au but poursuivi et d'évaluer les caractéristiques des pièces en fonctionnement. L'objectif est d'éviter des essais dont la réalisation serait trop longue et trop coûteuse. La capitalisation des connaissances est un enjeu important pour l'industrie des matériaux et de la chimie. Ceci passe en particulier par le développement de systèmes à base de connaissance. L'enjeu est de regrouper et de faire communiquer des connaissances de nature différente : formulations chimiques, propriétés des matériaux, caractéristiques de mise en forme, comportements en service. Ces logiciels nécessitent de s'assurer de la disponibilité et de la validité de nombreuses bases de données. Il est nécessaire de démontrer la faisabilité et l'intérêt de telles réalisations et de s'assurer de la volonté des acteurs concernés qui manifestent une certaine frilosité pour investir dans l'immatériel. Des opérations pilotes pourraient par exemple être menées. De nombreuses compétences sont disponibles et mobilisables.

Liens : cf. les mentions en italiques de la grille ci-dessous.

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	Forte	moyenne	faible	inexistante

Exemple de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
Industries mécaniques et de la transformation des matériaux	- Conception d'organes de construction, de véhicules… - Calcul de structures et d'outillages - Moules - ***Simulation numérique des procédés*** - ***Réalité virtuelle augmentée pour la conception architecturale et technique*** - ***Ingénierie concourante*** - ***Systèmes performants pour enveloppe de bâtiment*** - ***Formalisation et gestion des règles métiers***	- Choix des matériaux - Optimisation des masses - Optimisation de la maintenance - Accélération et optimisation de la conception - Conception intégrée - Prévision de durée de vie	**Modélisation complète de la transformation des matériaux et intégration dans des bases de données**	- Caractérisation du comportement en fonction des sollicitations - Retours d'expérience - Connaissance des rhéologies - Validation et capitalisation des données sur les matériaux - Volume et coûts des données à acquérir et à traiter - Communication entre bases de données de structure différente - *Techno. logicielles pour la gestion des données et du contenu* (bases de connaissances…)	- Sciences des matériaux - Calcul - Informatique logicielle - Chimie - Physique du solide - Mécanique

46 - Modélisation moléculaire des polymères

L'objectif est d'améliorer la prédiction des propriétés physico-chimiques Pour obtenir ce résultat, il faut d'abord mettre au point des algorithmes et des approches qui permettent la modélisation fine, moléculaire ou en champs moyens, des interactions molécule/polymère, polymère/polymère, polymère/surface, … de façon à diriger les synthèses vers les structures a priori les plus efficaces. Les applications visées sont les polymères massiques ou en solution. Ceci nécessite la compréhension des interactions entre structure moléculaire et propriété physique ; cela permet par exemple le calcul de compatibilité de polymères.

La modélisation moléculaire contribue à l'amélioration de la productivité de la recherche et au développement de la capacité d'innovation des industriels. Son développement passe par la combinaison de compétences mathématiques et physico-chimiques.

Liens : techniques de synthèse et de test haut débit

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

	émergence	croissance	maturité
Technologie		croissance	
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

	forte		moyenne	faible	inexistante
France					
Europe					

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

	forte	moyenne	faible	inexistante
France			faible	
Europe			faible	

Exemple de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Chimie	- Optimiser la structure / composition d'un additif - Prévoir les propriétés	- Optimiser plus vite - Diminuer le nombre d'essais et proposer des pistes au chercheur	- **Modélisation moléculaire des polymères**	- Durée de calcul acceptable - Modèles théoriques fiables - Interface théorie / pratique	- Chimie / physique fondamentale et interfaces avec les applications - Calcul

47 - Techniques de synthèse et des tests haut débit

Il s'agit de mettre au point des techniques robotisables qui permettent de préparer des dizaines de milliers d'échantillons de produits (matières actives, catalyseurs, ligands, etc ..) et de tester chacun de ses produits pour les applications visées. Ces méthodes utilisées pour la recherche de médicaments se diffuse dans la parachimie et la chimie. Elles contribuent à améliorer la productivité de la recherche, la capacité d'innovation et la réactivité des industries (time to market). Elle s'appuie sur la synthèse moléculaire chimique et/ou biologique qui permet la création de diversité moléculaire (exemple : production de nouveaux antibiotiques via la recombinaison de gènes d'origines différentes). La synthèse moléculaire devrait permettre l'alimentation des cribles avec un nombre de molécules suffisant mais aussi la découverte de nouvelles molécules actives. Le développement des pratiques permettra un développement important dans le secteur de la chimie. Les freins technologiques au développement de la synthèse moléculaire chimique ou biologique réside actuellement dans la miniaturisation et l'importance de la recherche amont en chimie (chimie et biochimie combinatoire)

Liens :

- ***criblage de molécules actives***
- ***modélisation moléculaire des polymères***
- ***nanocomposites et renforts nanométriques***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Chimie, agrochimie, parachimie - Electronique - Pharmacie	- Méthodes de recherche pour la mise au point de catalyseurs, de polymères, etc .. Banques de molécules - Synthèse de nouvelles molécules actives	- Parallélisation des réactions pour accélérer le développement de nouvelles molécules Création d'une bibliothèque de molécules à tester	- **Techniques de synthèses et de test haut débit**	- Trouver des micro tests pertinents pour la valeur d'usage Miniaturisation - Chimie combinatoire - Biochimie combinatoire	- Physique et physico chimie - Robotique - Informatique - Biologie - Chimie

Construction – Infrastructure

48 - Systèmes performants pour enveloppe de bâtiment

L'architecture contemporaine a permis de dissocier la fonction porteuse de la fonction enveloppe (interface avec l'extérieur). Cette approche permet à la fonction enveloppe d'intégrer, en plus de l'esthétique extérieure, des fonctions d'éclairage, de thermique, d'acoustique ou encore de ventilation. Ces bâtiments intelligents sont équipés d'infrastructures de télécommunication qui permettent de s'adapter pour utiliser de manière plus efficace ses ressources et offrir à ses occupants plus de confort (automatismes, commandes à distance, parois à transparence,…) et de sécurité. La mise au point de ces enveloppes performantes répond également à des enjeux de gestion de l'énergie (isolation thermique modulable,..) ou encore de maintenance (façades auto-nettoyantes,..). Ainsi, l'élaboration de systèmes performants doit permettre le développement d'enveloppes actives, durables, offrant un rapport coût (construction et usage) / performance supérieur aux solutions actuelles. Un des enjeux est de promouvoir l'intégration collective de ces technologies afin d'élaborer des enveloppes comportant l'ensemble des fonctionnalités.

Liens :

- ***capteurs intelligents***
- ***matériaux absorbants de chocs, de vibrations, de bruits, de chaleur***
- ***modélisation complète de la transformation des matériaux et intégration dans des bases de données***
- ***fibres textiles fonctionnelles***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Tout type de bâtiment	- Fenêtres à haute isolation thermique - vitrage à transparence variable - Enveloppes vitrées à double peau « respirante » - Façades autonettoyantes et « cicatrisables » - Systèmes de ventilation intégrés à l'enveloppe	- Etanchéité - Réduction des pertes énergétiques - Maîtrise du confort d'été - Protection acoustique - Sécurité - Réduction des coûts	- **Systèmes performants pour enveloppe de bâtiment**	- Contrôle des flux d'humidité - Assemblages (collage,…)	- Modélisation - Matériaux - Mécanique, thermique et acoustique

49 - Techniques de diagnostic des structures

Le suivi en temps réel des structures pendant leur durée de vie permet de déterminer le degré de vieillissement des ouvrages et les « pathologies » concernées. Ces techniques de suivi permettent d'assurer une meilleure programmation de la maintenance et à priori d'en diminuer les coûts. Ces techniques font appel à la fois à des Technologie de modélisation (méthodologie, simulation), à des procédures de sondage (réflexion ultrasonique par exemple) et de mesures liées à des capteurs intégrés (Capteurs à Fibre Optique), capables de traiter l'information (étanchéité, déformation,…), et de relier des bases de données d'informations. Un des points clés de leur diffusion sera la facilité de mise en œuvre (aujourd'hui les contraintes traditionnelles avec les jauges limitent la diffusion), ainsi qu'un coût réduit (un capteur fibre optique coûte 100 fois plus cher qu'une jauge). La France se situe en 4ème position dans le domaine des capteurs à fibre optique grâce à une dizaine d'universités, au rôle prédominant du LCPC et d'EDF, ainsi que de nombreuses entreprises. Des applications existent dans le métro, sur les barrages ou encore sur le pont de Normandie. Cependant, même s'il existe une prise de conscience relative du marché sur ces techniques, il reste un besoin de normalisation (pression réglementaire) pour inciter les propriétaires de bâtiments à tracer leurs ouvrages.

Liens :

- ***capteurs intelligents***
- ***évaluation non destructive de l'endommagement des matériaux et des assemblages***
- ***technologies de déconstruction***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte		moyenne	faible	inexistante
Europe	forte		moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Habitat et infrastructure - Génie civil	- Entretien et réhabilitation d'ouvrages - programmation de travaux - Mise en sécurité	- **Les techniques de diagnostic et de réparation des structures**	- Outils de simulation des structures - Méthodes de diagnostic - Capteurs et métrologie	- Matériaux / endommagement - Modélisation - Imagerie - Traitement de signal **Autres points critiques** - Normalisation	- Optique - Microélectronique - Physique des matériaux

50 - Technologie de déconstruction

Le secteur du bâtiment est aujourd'hui un acteur important dans la production de déchets : 31 millions de tonnes auraient été ainsi produits en 1999 soit plus de l'équivalent des déchets ménagers en France. Parmi ces 31 millions de tonnes, environ 2 seraient issus des chantiers de construction, 11 des chantiers de réhabilitation et 17 des chantiers de démolition.
Par ailleurs, la réglementation française est, de façon générale en matière de gestion des déchets, en pleine évolution et durcit globalement les contraintes qui pèsent sur cette activité, en particulier sur leur mise en décharge pour favoriser leur recyclage.
Le secteur du bâtiment ne peut ignorer cette évolution et doit, à court terme, se préparer à modifier ses modes de gestion de déchets en particulier en pensant la déconstruction des bâtiments (sélection des matériaux recyclables, mise en place de tri sélectif, organisation de collecte).
L'organisation de la filière est l'une des contraintes fortes sur ce secteur actuellement.

Liens :
- ***recyclage de matériaux spécifiques***
- ***conception et mise en œuvre des ouvrages dans une logique de développement durable***
- ***techniques de diagnostic des structures***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Bâtiment - Environnement	- Déprise minière - Evaluation des risques - Aménagement du territoire - Démantèlement Usines – Ateliers industriels	- Déconstruction immeubles, usines,… - Gestion de l'après mines	- **Technologie de la déconstruction**	- Management des chantiers - Technologie de tri des déchets - Mise en place des filières - Conception - Stockage des déchets - ouvrages souterrains	- Radioprotection - Robotique - Chimie - Hydrogéologie - Géotechnique

51 - Conception et mise en œuvre des ouvrages dans une logique de développement durable

La conception et la mise en œuvre des ouvrages doivent prendre en compte un certain nombre d'enjeux liés au secteur de la construction : le confort (l'aspect, le bruit, la gestion de l'air, de l'énergie, de l'éclairage,..), la sécurité (protection contre les intempéries, le comportement sous choc ou après détérioration), la maintenance (nettoyage,..), la durabilité, la limitation de l'utilisation des ressources non renouvelables. Ces enjeux concernent non seulement les matériaux de construction mais aussi les équipements des bâtiments comme les chaudières, les fenêtres, les systèmes de ventilation,… Ainsi, les impératifs liés aux problèmes d'environnement et aux économies d'énergie imposent de réfléchir dès la conception des ouvrages et matériaux aux problématiques de recyclage dans le cadre d'un bâti intégré dans une notion large de développement durable. La mise en place de la Taxation générale des Activités Polluantes qui concerne le domaine industriel et tertiaire devrait constituer un levier puissant pour le développement de cette technologie.

Liens :

- ***gestion de l'air dans les bâtiments***
- ***éclairage et visualisation à basse consommation***
- ***fluides frigorigènes à haute qualité environnementale***
- ***pile à combustible***
- ***photovoltaï que***
- ***technologies de déconstruction***
- ***microturbine***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Habitat - Infrastructure - Automobile - Transport	- Cadre bâti plus durable - Matériaux d'isolation phonique modulables et thermique	- **Conception et mise en œuvre des ouvrages intégrant l'analyse du cycle de vie des matériaux de la fabrication au recyclage**	- Modélisation des matériaux hétérogènes - Modélisation des flux d'impacts environnementaux - Analyse des cycles de vie	- Toxicité des produits - Méthodes d'analyse - Collecte et organisation des données relatives aux impacts lors de la fabrication	- Analyse système - Traitements statistiques et probabilistes - Logique floue - Physico-chimie des matériaux

52 - Ingénierie concourante

L'ingénierie concourante fait travailler en parallèle des équipes différentes, qui interviennent normalement de manière successive. Son objectif est de raccourcir les délais de développement d'un produit, tout en améliorant sa qualité et son adéquation avec les besoins du marché. De plus, elle s'inscrit dans un contexte de normalisation internationale (normes STEP, International Alliance for Interoperability) qui permettra d'homogénéiser les bases de données en classifiant les composants utilisés à l'échelle mondiale.

Déjà intégrée dans les secteurs de l'automobile et de l'aéronautique, l'ingénierie concourante doit y être renforcée, tout en étant diffusée à l'ensemble des secteurs industriels concernés.

En outre, ce mode d'organisation semble particulièrement approprié pour la filière BTP, qui connaît une forte division entre les entreprises chargées des études et celles chargées de la réalisation. Il en résulte de nombreux dysfonctionnements (dont l'impact est estimé à près de 10 % du CA de la filière). La mise en œuvre de l'ingénierie concourante pourrait ainsi modifier en profondeur l'organisation du secteur, avec pour effet un accroissement de son efficacité technique et économique (il existe une forte compétition entre l'Europe, les USA et le Japon). En France, sa diffusion est freinée par la réglementation des marchés publics, qui interdit les liens entre maîtres d'œuvre et industriels.

Liens (autres que les mentions en italiques de la grille ci-dessous) : systèmes d'organisation et gestion industrielle améliorés, prototypage rapide.

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- BTP - Tous secteurs industriels	- Conception des bâtiments et infrastructures - Maintenance - Process et produits de l'industrie - *Représentation et gestion des processus de l'usine numérique*	**Ingénierie concourante**	- *Techno. logicielles de l'informatique distribuée* (partage de données, base de données distributive…) - *Génie logiciel* - - *Techno. logicielles de la langue et de la parole* - *Techno. logicielles pour le transport de données* - *Techno. logicielles pour la gestion des données et du contenu* - *Techno. logicielles de réalité virtuelle* - *Transmission temps réel de contenus multimédia* - ***Modélisation complète de la transformation des matériaux et intégration dans des bases de données*** - *Réalité virtuelle augmentée pour la conception architecturale et technique* - *Intermédiation et intégration de services pour l'Internet du futur* - *Formalisation et gestion des règles métier* - ***Multi-représentation des objets virtuels / qualité de la représentation***	- Représentations orientées objet - Normalisation des données et des protocoles d'échanges - Modélisation du processus - … Et divers autres points critiques relevant des technologies citées ci-contre et évoquées par ailleurs	- Analyse linguistique - Modélisation de données - Simulation numérique - Informatique logicielle - … Et divers autres domaines relevant des technologies citées ci-contre et évoquées par ailleurs

53 - Réalité virtuelle augmentée pour la conception architecturale et technique

L'utilisation de la réalité virtuelle dans le domaine de la conception architecturale et technique répond à un enjeu d'intégration de la filière client-fournisseur qui apparaît dans tous les secteurs d'activité :

- les ressources de la réalité virtuelle permettront aux architectes et aux constructeurs de montrer à leurs clients leur vision du bâtiment,
- dans l'industrie, la réalité virtuelle, y compris dans ses applications de laboratoire pour la conception des produits et des composants, est une voie importante de réduction des délais de mise au point des projets ; elle permet notamment de réduire le nombre de prototypes ou d'essais grandeur nature ; en outre, combinée avec les systèmes de communication et les agents intelligents, elle permettra aux industriels de moduler leurs produits et de personnaliser leur offre.

La fonction « réalité virtuelle » mobilise diverses technologies traitées par ailleurs, notamment des technologies logicielles (spécifiques, mais aussi - en particulier s'agissant de réalité virtuelle augmentée - pour la gestion des données et du contenu).

Liens (autres que les mentions en italiques de la grille ci-dessous) : transmission temps réel de contenus multimédia.

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	Forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	Forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	Forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	Forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- BTP, architecture, décoration, promotion immobilière - Formation profes-sionnelle - Tous secteurs industriels	- CAO - Design - *Surveillance intelligente de l'élaboration et de la mise ne œuvre des matériaux* - *Ingénierie concourante* - *Offre de produits et de services de grande consommation à base de réalité virtuelle* - *Méthodes de marketing liées à l'utilisation des TIC* - *Représentation de la perception du consommateur* - *Simulation, modélisation du comportement humain* - *Simulation numérique des procédés* - *Représentation et gestion des processus de l'usine numérique* - *Prototypage rapide* - *Soutien logistique intégré* - Conception des bâtiments et infrastructures - Mobiliers et agencement	**Réalité virtuelle augmentée pour la conception architecturale et technique**	- *Techno. logicielles pour la gestion des données et du contenu* - *Techno. logicielles de réalité virtuelle* - *Grands serveurs* - *Modélisation complète de la transformation des matériaux et intégration dans des bases de données* - Image à haute luminance - Modèles 3D - Dispositifs d'imagerie spéciaux, supportant des images 3D	- Capacité de calcul - Bases de données - Normalisation de la représentation des objets industriels - … Et divers autres points critiques relevant des technologies citées ci-contre et évoquées par ailleurs	- Simulation numérique multi-échelle - Psychologie de la perception - Informatique logicielle - Informatique générale - Formalisation de la connaissance

54 - Gestion de l'air dans les bâtiments

L'habitat doit garantir une ambiance saine pour ses occupants, en particulier à travers le suivi de la qualité de l'air. Dans ce domaine, les pressions réglementaires se font croissantes. Les problématiques liées à la gestion de l'air s'organisent autour de trois axes principaux : le confort (thermique et hygrométrique), la salubrité (poussière, germes,…) et la consommation d'énergie par l'amélioration du rendement énergétique des systèmes de climatisation, de ventilation et de chauffage.
La maîtrise du taux de CO_2 est une contrainte importante, en particulier dans les pays développés.
Au-delà du choix des matériaux de construction, la gestion de l'air fait appel à des Technologie liées aux capteurs intelligents, à la métrologie, à la filtration ou encore à l'épidémiologie.

Liens :
- ***conception et mise en œuvre des ouvrages dans une logique de développement durable***
- ***filtration membranaire***
- ***biopuces et biocapteurs***
- ***capteurs intelligents***
- ***fluides frigorigènes à haute qualité environnementale***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	**X**	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	**X**	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	**X**	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	**X**	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	**X**	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	**X**	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Secteur tertiaire - Bâtiment - Automobile - Etablissements de soins	- Amélioration de la qualité des structures - Air conditionné adaptatif - Amélioration du confort et de la santé - Economie d'énergie	- **La gestion de l'air dans les bâtiments**	- Métrologie et interface utilisateur - Capteurs - Récupération d'énergie - Filtration, épuration	- Systèmes - Composants critiques - Filtres - Technologie d'épuration - Technologie de désinfection des réseaux de ventilation **Autres points critiques** - Réduction des coûts des capteurs	- Thermodynamique - Physico-chimie - Mécanique des fluides - Epidémiologie - Microélectronique - Modélisation - Micromécanique

55 - Réduction des bruits

Le bruit est de plus en plus reconnu comme une véritable nuisance et la preuve est faite qu'il a un impact sur la santé. Les sources de bruit sont multiples. Elles concernent les infrastructures, les transports mais aussi les équipements industriels.

L'Etat a par ailleurs relayé cette demande sociétale via la définition de « points noirs » et la mise en place du plan anti-bruit. La réduction du bruit semble même devenir un enjeu européen avec l'apparition de l'acoustique comme domaine de recherche du 5ème programme cadre européen.

Plusieurs voies sont possibles pour la réduction des bruits :

- la réduction du bruit à la source : diminution des vibrations et émissions sonores des machines, appareils ou véhicules,
- la réduction passive du bruit, prise en compte dans la conception des matériaux et produits : matériaux absorbants, design,…,
- la réduction active du bruit qui permet d'initier un bruit particulier qui annule le bruit produit par l'infrastructure.

Liens :

- ***matériaux absorbants de chocs, de vibrations, de bruit, de chaleur***
- ***béton à performances optimisées***
- ***matériaux composites pour les routes***
- ***capteurs intelligents***
- ***amélioration du coût et des performances des lanceurs spatiaux***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte		moyenne	faible	inexistante
Europe	forte		moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte		moyenne	faible	inexistante
Europe	forte		moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Transports - Infrastructures - Bâtiment - Industrie (ateliers)	- Atténuation du bruit en milieu industriel - Murs anti-bruits - Chaussées absorbantes - Acoustique intérieure des véhicules	- **Réduction des bruits**	- Roulement - Traitement actif (anti-bruit) - Traitement passif - Imagerie des intensités vibratoires - Matériaux absorbants - Transmission acoustique	- Analyse acoustique - Contrôle actif - Maîtrise des vibrations - Modélisation des effets climatiques - Matériaux en ambiance sévère - Rapport efficacité/ masse - Maîtrise des processus « concevoir silencieux » et base de données associées - Critère de performance de qualité acoustique **Autres points critiques** - Coût	- Ondes sonores - Dispositifs actifs (électronique) - Acoustique - Modélisation - Mécanique des fluides - Mécanique vibratoire - Traitement du signal – capteurs - Matériaux - Aérodynamique 3D/instationnaire

56 - Béton à performances optimisées

Le béton est toujours une industrie de mélange, mais il se modernise grâce à l'élargissement de sa palette de composants, avec une gamme de performance très large : résistance à la compression dépassant 200Mpa, meilleure compacité et fluidité, eau de gâchage en diminution, mise en œuvre par tous les temps,… Les nouveaux bétons vont voir leurs applications se diversifier comme les bétons fibrés à ultra-performances qui ont des résistances à la traction et des ductilités qui les rapprochent des matériaux métalliques. Ces bétons pourraient trouver des applications dans les domaines nucléaires et militaires. Au-delà des résistances mécaniques, les facteurs clés de succès pour l'utilisation de ces matériaux sont la durabilité face aux phénomènes de corrosion (traitement des surfaces et substitution de l'acier,...), ainsi que les qualités de mise en œuvre (fluidité, vitesse de prise, durabilité,…). Les bétons les plus prometteurs semblent être les super plastifiants qui donnent des bétons extrêmement fluides dits auto-compactables. Ces bétons coûtent encore dix fois plus chers que les bétons habituels. Plusieurs enjeux émergent comme la préoccupation environnementale qui commence à avoir des répercussions sur les matières premières utilisées ou encore l'apparition d'une norme européenne en préparation qui devrait conduire à une harmonisation des bétons. La France occupe une place essentielle dans ce domaine portée par les entreprises et l'Ecole Française du Béton.

Liens :

- ***alliage de polymères***
- ***matériaux absorbants de chocs, de vibrations, de bruit, de chaleur***
- ***réduction des bruits***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Habitat - Infrastructure - Transport fluvial et maritime	- Structures et ouvrages - Préfabrication - Facilité de mise en œuvre - Esthétique des ouvrages	- **Le béton à performances optimisées**	- Béton à haute performance - Béton autoplaçant - BFUP (Béton fibrés à ultra haute performance)	- Rhéologie - Interaction physico-chimique - Comportement à chaud (incendie)	- Chimie et physique milieux granulaires - Rhéologie - Cristallographie - Physico-chimie des domaines superficiels

57 - Matériaux composites pour les routes (les enrobés)

Les caractéristiques de surface des revêtements routiers jouent des rôles essentiels dans le comportement, la sécurité, le confort des véhicules mais aussi dans l'impact de la route sur l'environnement : la sécurité du freinage ou des manœuvres d'urgence est liée à l'adhérence des pneumatiques, le confort des occupants à l'uni et à la rugosité de la surface qui participe à la genèse du bruit de roulement. L'émission et l'absorption du bruit routier, nuisance forte pour les riverains, l'écoulement des eaux de ruissellement sur les chaussées peuvent être fortement influencés par ces caractéristiques comme c'est le cas pour les revêtements drainants. La conception de revêtements performants, durables et économiquement viables qui nécessite un compromis complexe entre épaisseur, textures, porosité, drainabilité, pourrait être sensiblement améliorée si l'on disposait de méthodes et systèmes de mesures des paramètres les plus pertinents, opérant de préférence sans contact direct avec le revêtement et sur site. De tels dispositifs de mesure des caractéristiques de surface pourraient même être embarqués sur les véhicules et intégrés aux systèmes d'aide à la conduite.

Liens :
- ***réduction des bruits***
- ***véhicules intelligents et communicants***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Construction et entretien des routes et voiries de toutes natures	- Conception de revêtement durable à haute performance acoustique - Mesure en temps réel de l'adhérence et de l'uni - Caractérisation rapide des matériaux de revêtements actuels et innovants - Suivi dans le temps des caractéristiques des revêtements par des systèmes de mesures à grands rendements.	- Définition des caractéristiques les plus pertinentes vis-à-vis de la sécurité, du confort, de l'environnement - Mesure rapide sur site de ces caractéristiques de préférence par des systèmes sans contact, embarquables sur véhicules.	- **Caractéristiques de surface des revêtements routiers**	- Caractérisation des propriétés déterminantes (adhérence, confort dynamique, émission acoustique, écoulement de l'eau,…) en relation avec les systèmes de mesures envisageables - Mesures à distance par émission, réception et traitement de signal	- Physique des matériaux - Physique du contact - Acoustique - Modélisation

58 - Technologies de travaux souterrains

Les techniques de travaux souterrains s'appuient sur des disciplines théoriques (analyse des équilibres naturels préexistants, études, prévisions et contrôles des phénomènes de déformation, mécanique des sols, des roches, théorie des modèles,…), ainsi que sur la mise en œuvre de constructions spécifiques : traitement des sols, choix des systèmes de stabilisation, étanchéité, béton, coulis d'injection, gels, congélation, jet-granting, Technologie des tunneliers. On peut également noter le développement de l'automatisation de robot autonome en particulier pour le creusement de micro-tunneliers. Un des enjeux de ces techniques est de limiter les perturbations à la surface lors des chantiers et d'assurer la sécurité à l'intérieur des tunnels comme à l'extérieur (affaissement). Les secteurs d'application comme l'aménagement urbain (Eole à Paris), les infrastructures de transport (tunnel sous la Manche) ou encore le stockage de marchandises, de déchets, de produits pétroliers, gaziers ou chimiques sont étroitement liés aux techniques de travaux souterrains.

Liens : off shore grands fonds

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Aménagement de l'espace urbain (transport, parkings, développement des réseaux) - Infrastructures de transports - Stockage	- Construction d'ouvrages d'art enterrés - Traversée alpines - Voiries urbaines souterraines - Métros	- Réduction des nuisances de surfaces - Sûreté et fiabilité du creusement	- **Les techniques des travaux souterrains**	- Reconnaissance fixe en temps réel - Modélisation - Coexistence de plusieurs échelles de temps et d'espace - Aérage - Exore - Robotisation	- Mécanique des sols - Matériaux - Modélisation - Mécanique des roches - Matériaux granulaires

59 - Off shore grands fonds

La problématique portée par l'exploitation off shore grands fonds est de pouvoir opérer sans intervention humaine dans des milieux hostiles. Les opérations doivent prendre en compte les logiques d'utilisation en fonctionnement normal, de maintenance (corrosion) ou encore d'interventions liées à des dysfonctionnements faibles ou majeurs. Les structures d'exploitation doivent pouvoir assurer les liaisons fixes avec la surface. Ces structures marines doivent être fixées pour des fonds de plus de 1000 mètres.

Les technologies utilisées reprennent celles de la mécanique, de l'informatique, de l'électronique, des Technologie du son et de l'image ou encore de l'ergonomie. Les technologies informatiques tiennent cependant une place de choix avec des problématiques liées au traitement de l'image et du signal, à la reconnaissance des formes, à la modélisation ou encore la simulation,…Trois fonctions doivent être ainsi maîtrisées : l'interface homme-machine, le contrôle commande et les systèmes mécaniques. Un des enjeux est l'amélioration des ergonomies des postes de télé-opération. Marché confidentiel, l'off shore grands fonds est le fait de quelques grands industriels français très bien placés au niveau international.

Liens :

- ***éolien off shore***
- ***technologies de travaux souterrains***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Exploration - Modules métalliques	- **Off shore grands fonds** - Exploration pétrolière	- Extraction de pétrole et de gaz - Ouvrage complexe en milieu hostile	- Télémaintenance et téléopération en milieu hostile - Robotisation - Ancrage pour grands fonds - Ombilics pour fonction fond/surface - Capteurs	- Résistance aux fortes pressions - Obstacle à la transmission d'ondes non guidées - Systèmes de positionnement	- Métallurgie - Corrosion - Résistance des matériaux - Propagation des ondes - Océanographie

60 – Robotique mobile en milieu hostile

L'exploitation off shore grands fonds ou la production d'électricité nucléaire sont deux exemples de situations où il est nécessaire d'opérer sans intervention humaine dans des milieux hostiles, qu'il s'agisse de mise en place, de fonctionnement normal, de maintenance ou encore d'interventions liées à des dysfonctionnements faibles ou majeurs.
Trois fonctions doivent ainsi être maîtrisées : l'interface homme-machine, le contrôle commande et les systèmes mécaniques. Un des enjeux est l'amélioration de l'ergonomie des postes de télé-opération.
De nombreuses technologies évoquées par ailleurs sont mobilisées à cette fin. En matière de logiciel, en particulier, on citera les problématiques liées au traitement de l'image et du signal, à la reconnaissance des formes, à la modélisation ou encore la simulation…
Sur ces marchés, quelques grands industriels français sont très bien placés au niveau international.

- ***Liens (autres que les mentions en italiques de la grille ci-dessous) : technologies de travaux souterrains.***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte		moyenne	faible	inexistante
Europe	forte		moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte		moyenne	faible	inexistante
Europe	forte		moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Energie - Environnement - BTP	- Off shore grands fonds (extraction de pétrole, de gaz, de nodules métalliques) - Exploration pétrolière - Télémaintenance (notamment nucléaire) - *Eolien off shore*	**Robotique mobile en milieu hostile** Travaux complexes sans intervention humaine sur le terrain	- Robotisation - Télécommunications - Mécanique - *Techno. logicielles pour les systèmes temps réel ou contraint* - *Capteurs de vision / capteurs d'image* - *Capteurs intelligents* - *Architecture électronique etc. dans les véhicules* - *Sûreté des systèmes* - *Ergonomie de l'interface homme-machine*	- Résistance aux conditions extrêmes (pression…) - Obstacles à la transmission d'ondes non guidées - Ancrage pour grands fonds - Ombilics pour fonction fond/surface - Franchissement / contournement d'obstacles - Systèmes de positionnement - Décontamination - Corrosion - *Techno. logicielles pour la gestion des données et du contenu* (analyse d'image, reconnaissance des formes…) - *Techno. logicielles de réalité virtuelle* - … Et divers autres points critiques relevant des technologies citées ci-contre et évoquées par ailleurs	- Métallurgie - Corrosion - Résistance des matériaux - Propagation des ondes - Informatique logicielle - Traitement du signal - Océanographie - Physique nucléaire - … Et divers autres domaines relevant des technologies citées ci-contre et évoquées par ailleurs

Environnement - Energie

61 - Stockage de l'énergie

Le développement des systèmes nomades (ordinateur, téléphone,…) d'une part et des moyens de transport électrique (véhicule électrique, tramway,…) d'autre part va se poursuivre dans les années à venir. Le marché du stockage de l'énergie qui lui est lié est déjà considérable. Au-delà, un accroissement des capacités modifierait les utilisations de l'électricité. Il existe plusieurs types de systèmes de stockage de l'énergie : électrique, électrochimique, pneumatique, gaz,…
La résolution du problème de recyclage est un des facteurs clés de succès pour ces systèmes.

Liens :
- ***élaboration de composites à matrice organique***
- ***pile à combustible***
- ***photovoltaï que***
- ***nanocomposites et renforts nanométriques***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Majorité des applications de l'électricité - Stockage de l'énergie électrique pour les systèmes nomades - Transport	- Ordinateur portable - Téléphone portable - Véhicule électrique - Automobile hybride - Tramway sans caténaire - Régulation locale de la production électrique - Satellites, missions spatiales longues - Drones	- Stockage de l'électricité - Stocker rapidement l'énergie disponible et la restituer selon le besoin d'énergie, ou de puissance	- **Stockage de l'énergie (électrique, électrochimique, gaz,...)**	- Réduction du poids - Miniaturisation - Energie massique - Puissance massique - Capacité massique - Recyclabilité - Adsorption - Intégration système **Autres points critiques** - Coûts - Fiabilité / sécurité - Durabilité	- Matériaux - Electrochimie - Electronique - Physique des interfaces et des surfaces - Physique

62 - Pile à combustible

Une pile à combustible utilise de l'hydrogène et de l'oxygène pour produire (en installation embarquée ou non) de l'électricité.
Ces piles présentent a priori un intérêt fort, parce qu'elles ne produisent pas d'émissions polluantes, ont un rendement énergétique pouvant atteindre les 60 %, et suppriment les temps de recharge nécessaires aux accumulateurs traditionnels. La synergie des applications dans les transports, l'habitat (stationnaire), mais également les usines de production électrique, ouvre d'ailleurs des perspectives de marché considérables. Les Etats-Unis, le Canada (Ballard en tête) et le Japon sont les trois pays les plus avancés dans ce domaine.
Cependant, l'avenir de la pile à combustible dépend d'une sérieuse optimisation du cycle énergétique complet dans lequel elle s'inscrit : produire l'hydrogène à partir de centrales thermiques et donc polluantes réduit considérablement l'intérêt écologique de la technologie, pour des coûts qui restent prohibitifs (5000 euros par kilowatt produit contre 50 euros par kilowatt pour les moteurs thermiques). La sécurisation à la fois du transport, du stockage, et de l'utilisation de l'hydrogène, pose également des problèmes technologiques importants (et coûteux).

Liens :

- ***moteurs thermiques***
- ***conception et mise en œuvre des ouvrages dans une logique de développement durable***
- ***amélioration des performances énergétiques d'ensemble des véhicules***
- ***système de stockage de l'énergie***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Transports - Exploitation pétrolière - Bâtiment, infrastructures urbaines - Espace	- Véhicules électriques - Ferroviaire et navires - Véhicules Industriels urbains - Substitution aux groupes électrogènes - Propulsion et Ancillary Power Unit (alimentation des auxiliaires, ex : climatisation) - Systèmes thermiques isolés - Electricité et génie climatique dans le bâtiment - Cogénération décentralisée	- Production d'énergie électrique (conversion chimique / électrique) avec limitation des émissions de CO2	- **Pile à combustible**	- Rendement - Durée de vie - Stockage - Intégration – système - Miniaturisation - Maîtrise des risques (sécurité) - Filière combustible **Autres points critiques** - Coûts	- Electrochimie - Carburants et physicochimie - Physique des solides - Optimisation

63 - Microturbine

La libéralisation des industries électriques va se développer à la suite de la Directive 96/92 sur les marchés électriques. Cette dernière va provoquer un terrain propice au développement de systèmes de production d'énergie décentralisée tels les microturbines. De plus, la tendance actuelle serait de limiter l'utilisation des réseaux (problème de fiabilité en cas de catastrophe naturelle, impact environnemental visuel).
Le développement des microturbines est particulièrement lié à la stratégie des principaux acteurs français (EDF, Turbomeca…) et à la prise de position des assurances dans le cadre de la libéralisation du réseau (maîtrise des risques).

Liens : conception et mise en œuvre des ouvrages dans une logique de développement durable

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Production d'électricité	- Alimentation électrique d'immeubles, d'hôpitaux,… - Maisons individuelles	- Production électrique décentralisée	- **Microturbine**	- Matériaux pour toutes températures **Autres points critiques** - Coût	- Aérodynamique - Hydrodynamique - Matériaux, corrosion - Calcul numérique

64 - Eolien offshore

Les éoliennes utilisent l'énergie du vent à travers des pales pour la production d'électricité (énergie renouvelable et non polluante). Plusieurs applications se distinguent : l'alimentation de sites non raccordés au réseau qui correspond à des machines de quelques watts à quelques kilowatts, puis des petites éoliennes raccordées au réseau, de quelques kilowatts à quelques centaines de kilowatts, et enfin les grandes éoliennes dont la puissance peut atteindre le mégawatt. L'Europe dispose en 1999 déjà de 5 097 mégawatts de puissance électrique éolienne. Sur ce total la France produit uniquement 10 mégawatts. L'énergie éolienne produite en France représente 0,01 % de la production nationale d'électricité.

Le programme Eole 2005 a été lancé pour commencer à combler le retard mais aussi pour favoriser la diversification des sources d'énergie en France (cf application de la Directive Electricité et de la future Directive Energie Renouvelable).

Dans ce cadre, le développement de l'énergie éolienne se réalisera de façon privilégiée en mer. En effet l'éolien off shore offre plusieurs avantages : les espaces disponibles sont plus importants, le vent souffle plus fort (ce qui génère de 5 à 6 % de puissance supplémentaire) et est plus régulier. L'éolien off shore perturbe par ailleurs moins l'environnement.

Cependant pour permettre un tel développement, la protection anti-corrosion et anti-foudre reste un facteur clé.

Liens :

- ***photovoltaï que***
- ***off shore grands fonds***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Production d'électricité	- Alimentation en électricité de sites raccordés ou non au réseau - Implantation de fermes éoliennes en zone côtière	- Production d'électricité (énergie renouvelable) non polluante (sans émission de CO_2)	- **Eolien off shore**	- Système et génie civil pour allègement des plates-formes - Corrosion / résistance des matériaux (foudre) - Electronique de puissance : génératrice et régulation **Autres points critiques** - Fiabilité	- Matériaux - Mécanique des fluides - Electronique de puissance

65 - Photovoltaïque

Les énergies renouvelables représentent en France en 1997 près de 13 % de la production nationale d'énergie primaire et environ 6,5 % de la consommation finale énergétique. Parmi les énergies renouvelables, le photovoltaïque permet la production d'électricité (renouvelable et non polluante) basée sur la conversion de la lumière du soleil par des photopiles à base de silicium cristallin. Ce moyen de production électrique statique est en développement : le marché mondial a connu une croissance moyenne annuelle de près de 20 % sur les 5 dernières années dont 40 % en 1997 tandis que les prix baissaient de 25 % (en effet l'extension de la production a dans ce domaine un effet direct significatif sur le prix des modules).

Au-delà de l'émergence de ce marché, les optimisations en terme de process apparaissent clés pour en assurer la pérennité. Il sera par ailleurs important de trouver des sources de silicium alternatives aux déchets de l'industrie électronique. La fabrication de silicium de qualité solaire à partir de silicium métallurgique est une piste de ce point de vue.

Les couches minces permettent par ailleurs une réduction de la consommation de silicium et offrent en outre des perspectives d'utilisations nouvelles. L'ensemble de la profession s'accorde cependant à dire qu'à l'horizon 2005 la voie cristalline restera la principale utilisée et développée sur le marché mondial.

Liens :

- ***éolien offshore***
- ***stockage de l'énergie***
- ***conception et mise en œuvre des ouvrages dans une logique de développement durable***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

	émergence		croissance	maturité
Technologie		X		
Applications industrielles et commerciales		X		

	naissance		diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

	forte		moyenne	faible	inexistante
France		X			
Europe	X				

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

	forte		moyenne	faible	inexistante
France		X			
Europe		X			

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Production d'électricité	- Alimentation hors réseau (ex : village isolé) - Alimentation raccordée au réseau en appoint - Ecrêtage des pointes de consommation	- Production d'électricité (énergie renouvelable) non polluante (sans émission de CO_2)	- **Photovoltaïque**	- Purification / croissance continue des cristaux - Matériaux **Autres points critiques** - Coûts - Fiabilité - Maintenabilité	- Couches minces - Electrochimie

66 - Eclairage et visualisation à basse consommation

Le poste éclairage représente aujourd'hui une part significative de la consommation énergétique en France.

Le développement de systèmes d'éclairage peu consommateurs d'énergie comme le DEL (Diode électro-lumineuse) présente donc un intérêt tout particulier.

Le coût de ces technologies ainsi que la faible capacité industrielle des acteurs français freinent toutefois aujourd'hui le développement de l'éclairage et la visualisation à basse consommation.

Liens : conception et mise en service des ouvrages dans une logique de développement durable

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Automobile - Habitat	- Eclairage domestique - Signalisation	- **Eclairage et visualisation à faible con sommation**	- DEL (Diode électro-lumineuse)	- Choix des matériaux **Autres points critiques** - Coût - Fiabilité	- Polymères pour l'optique et l'électronique - Couches minces - Corrosion - Oxydation - Matériaux semi-conducteurs

67 - Supraconducteur

Les supraconducteurs sont des métaux ou alliages dont la résistivité électrique devient pratiquement nulle au-dessous d'une certaine température.

Le transport de l'électricité requiert aujourd'hui des matériaux plus performants. Les supraconducteurs peuvent répondre à ce besoin. Des avancées technologiques restent nécessaires pour permettre d'une part une fiabilisation et d'autre part une augmentation de la température de supraconductivité.

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL					
France	forte	moyenne	faible		inexistante
Europe	forte	moyenne	faible		inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Production et utilisation d'électricité dont transport d'électricité - Distribution de l'électricité - Aimants - Transformateurs - Moteurs	- Lignes électriques - Machines électromagnétiques - Aimants de forte puissance	- Transport sans perte de l'électricité - Production et stockage de l'électricité - Production de champs magnétique - Bobinages	- **Supraconducteur**	- Nouveaux matériaux et leur mise en œuvre - Nature des matériaux - Matériaux (dits « haute température ») - Corrosion / Longévité **Autres points critiques** - Coût	- Physique théorique - Chimie du solide

68 - Piégeage et stockage du CO_2

La pression réglementaire sur l'effet de serre requiert une diminution des émissions de CO_2 de plus en plus importante à laquelle les technologies de piégeage et de stockage répondent.
Une question reste cependant en suspens quant à l'avenir des sources d'énergie fortement productrices de CO_2 (par exemple le charbon) à horizon 2005 au regard des autres énergies disponibles telles le nucléaire.
Deux autres facteurs apparaissent prépondérants pour la diffusion de cette technologie : d'une part l'évolution de la pression réglementaire et la mobilisation de l'ensemble des acteurs au niveau de la planète et, d'autre part, la capacité qu'auront les industriels à industrialiser à un coût acceptable ces technologies.

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Thermique industrielle - Chauffage - Compagnies pétrolières	- Diminuer l'effet de serre	- **Piégeage et stockage du CO_2**	- Techniques du froid - Stockage en aquifère - Gisements en exploitation - Gisements déplétés	- Coût du transport du CO_2 - Traitement de grandes quantités	- Chimie - Physique du froid - Géologie - Biologie (photosynthèse synthétique)

69 - Conditionnement / entreposage et stockage des déchets nucléaires à vie radioactive longue

L'industrie nucléaire française fournit plus des trois quarts de l'électricité consommée en France. Elle génère la production de déchets dont certains sont très radioactifs, quelques-uns devant le rester durant des centaines de milliers d'années. La loi du 30 décembre 1991 fixe l'échéance à 2006 pour proposer des solutions viables à la gestion des déchets nucléaires à vie radioactive longue. Aujourd'hui différentes techniques de conditionnement existent dont l'utilisation du bitume et du ciment pour les déchets à l'activité faible ou moyenne et du verre pour ceux à haute activité. D'autres matériaux sont étudiés comme les vitrocéramiques, le sphene,...

Actuellement une coordination nationale existe pour permettre de mener à bien les études initiées. Cette mobilisation de la communauté scientifique reste indispensable au progrès dans ce domaine. L'acceptation du public conditionnera également fortement la diffusion de ces technologies.

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Production d'électricité nucléaire - Déchets nucléaires en provenance de l'électronucléaire, des hôpitaux , de l'industrie et des armes nucléaires	- Stockage profond - Entreposage de surface et de subsurface dont entreposage de longue durée - Déchets des réacteurs civils et des usines nucléaires, déchets provenant des armes nucléaires	- **Conditionnement / entreposage et stockage des déchets nucléaires à vie radioactive longue**	- Conditionnement - Génie civil	- Extrapolation des résultats dans le temps - Validation des modélisations - Modélisation des impacts environnementaux - Matériaux	- Géochimie - Chimie - Physicochimie des surfaces et des interfaces - Corrosion - Hydrodynamique - Phénomènes de transport - Modélisation - Matériaux - Mécanique - Thermohydraulique

70 - Fluides frigorigènes à haute qualité environnementale

La problématique de l'ozone et de l'effet de serre impose de plus en plus de contraintes environnementales, sanitaires et réglementaires.
Les fluides frigorigènes doivent répondre à ces contraintes et des conférences internationales ont par exemple récemment fixé des objectifs pour la France.

Les marchés concernés par les principales applications des fluides frigorigènes sont pour la plupart en forte croissance.
Le développement de fluides à haute qualité environnementale sera toutefois fortement conditionné dans les années à venir par les évolutions réglementaires sur l'effet de serre.

Liens :
- ***conception et mise en œuvre des ouvrages dans une logique de développement durable***
- ***gestion de l'air dans les bâtiments***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne		faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante	

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Automobile - Habitat - Transport - Commerce	- Climatisation - Réfrigération - Congélation - Surgélation	- Stockage et transport du froid dans un système - Vecteur du froid non agressif pour l'Environnement	- **Fluides frigorigènes à haute qualité environnementale**		- Chimie - Thermodynamique - Toxico et écotoxicologie - Mécanique des fluides - Génie chimique

71 - Stabilisation en vue du stockage et de l'utilisation écocompatibles des déchets ménagers et industriels

Les volumes de déchets produits en France sont en croissance constante. Par exemple, aujourd'hui, près de 100 millions de tonnes de déchets industriels banals sont produits. A horizon 2002, la réglementation prévoit l'élimination des décharges à l'exception des centres de stockages de déchets ultimes (fraction non valorisable des déchets après traitement). De plus, la gestion du stockage de ces déchets requiert leur stabilité physique et chimique dans le temps afin de garantir la non contamination de l'environnement.

L'écocompatibilité des déchets ultimes dans les centres de stockage est donc à terme un pré-requis. La stabilisation des déchets ultimes permettra de plus leur utilisation dans certains secteurs tels les sous-couches routières.

Les progrès dans ce domaine passent par une analyse et une gestion des risques à long terme (études de perméabilité par exemple). Au-delà, l'incitation réglementaire ainsi que la réduction des coûts de traitement seront des facteurs favorables à la diffusion de ces technologies.

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Travaux Publics - Génie civil - Santé	- Sous-couche routière - Remblais - Nouveaux matériaux de construction - Confinement des décharges - Stockage réversible et fiable	- **Stabilisation en vue du stockage et de l'utilisation écocompatibles des déchets**	- Inertage - Gestion décharge - Vitrification - Imperméabilisation	- Piégeage à long terme des polluants - Contrôle du débit des fumées - Barrières imperméables	- Chimie des matériaux - Biochimie - Modélisation - Microbiologie

72 - Recyclage de matériaux spécifiques

Les développements des logiques de tri permettent la mise en place de filières de traitement pour le recyclage de matériaux spécifiques tels que le papier, le verre, les métaux, les pneus,… L'objectif est en particulier de diminuer les mises en décharge de déchets ménagers et industriels et de favoriser la mise en place de filières de recyclage.

La Directive européenne sur les Véhicules Hors d'Usage impose par exemple à horizon 2005 un minimum de 80 % de recyclage des déchets de l'automobile ; pour les emballages plastiques ce taux est fixé à 15 %,…

Le potentiel de déchets à récupérer en France est aujourd'hui considérable : plus de 160 millions de tonnes (90 Mt de déchets du secteur des travaux publics, 31 Mt pour le bâtiment, 13 Mt de fraction fermentescible des ordures ménagères, 7 Mt de déchets verts, …)

La principale difficulté rencontrée actuellement pour la mise en place de ces filières réside dans la prise en compte des caractéristiques des déchets contenant des éléments le plus souvent toxiques mais aussi dans la prise en compte du rapport coût du recyclage / impact environnemental.

Au-delà, la réussite de la mise en place de ces filières est liée à l'éco-conception en amont des produits : réduction à la source et recyclabilité. Dans ce sens une meilleure connaissance des ACV (Analyse Cycle de Vie) est un facteur clé de succès.

Enfin, la gestion et l'organisation des filières conditionnent également le recyclage des matériaux spécifiques : équilibre entre matière première recyclée et vierge, cohérence des mesures concernant la collecte des déchets avec la réalité industrielle de l'utilisation de produits recyclés.

Liens :
- ***technologie de la déconstruction***
- ***alliage de polymères***
- ***élaboration de composites à matrice organique***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Automobile - Electronique - Produits bruns - Batterie électro-chimique	- Usages en fonction des matériaux spécifiques	- **Recyclage matériaux spécifiques**	- Recyclage direct des films d'emballages étirables - Procédés de valorisation matière par matériau : techniques de désencrage, …	- « Purification » des matériaux - Optimisation de la collecte - Outils de tri - Conception	- Chimie - Traitement du signal - Capteurs

73 - Elimination des métaux lourds dans les boues et les effluents

La teneur en métaux lourds dans les sols dépasse en certains endroits (axes routiers, proximité des sites industriels,…) le seuil de concentration fixé par la réglementation et représente un danger pour les êtres vivants. Les autorités comme les citoyens sont de plus en plus sensibles à cette pollution et la demande est forte pour la maîtriser.
Face à ce constat, trois axes de travail apparaissent : traiter les sols (cf fiche Développement des techniques de diagnostic et de traitement des sols), traiter les boues ou traiter les effluents en amont. La présence de métaux lourds apparaît particulièrement pénalisante car cette pollution risque de connoter négativement les productions et conduire à un rejet de l'épandage vers des traitements thermiques coûteux en énergie et CO_2.
L'élimination progressive des métaux lourds dans les effluents est liée à la maîtrise des techniques de séparation physico-chimique ou de précipitation ainsi qu'à la réduction des coûts de tels traitements.

Liens :
- ***développement des techniques de diagnostic et de traitement des sols***
- ***catalyseurs***
- ***ingénierie et traitement des surfaces***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	**croissance**	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	**diffusion**	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	**moyenne**	faible	inexistante
Europe	forte	**moyenne**	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	**forte**	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	**moyenne**	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Traitement d'eau - Agriculture - Santé	- Stations d'épuration - Engraissement terres agricoles - Valorisation agronomique	- **Elimination des métaux lourds dans les boues et les effluents**	- Technologie de traitements physiques ou physico-chimiques	- Techniques de séparation physico-chimique - Précipitation spécifique **Autres points critiques** - Coûts	- Chimie - Biochimie - Séparation membranaire - Sciences de matériaux, minéralogie

74 - Filtration membranaire

Les membranes sont utilisées pour la filtration de fluides par différentiel de concentration. Deux principaux types de membranes existent : les membranes minérales et organiques. Les technologies membranaires sont en développement aujourd'hui pour le traitement des eaux et viennent en substitution des traitements classiques dits physico-chimiques (filtration non membranaire, décantation). Leur principal avantage réside dans la réduction de l'utilisation des réactifs (producteurs de boues et aux impacts environnementaux importants) mais aussi dans la compacité des équipements associés et la fiabilité de la filtration.
Aujourd'hui, l'étape de nettoyage de ces membranes a un impact environnemental fort du fait de l'utilisation de produits spécifiques. De plus, elle reste pour les industriels une étape contraignante, de surcroît pénalisante du point de vue de l'usure des membranes.

Liens : gestion de l'air dans les bâtiments

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Toutes les industries à effluents - Industrie du traitement de l'eau - Bâtiment	- Traitement des effluents liquides - Traitement de l'eau	- **Filtration membranaire**	- Ultrafiltration - Microfiltration - Nanofiltration - Osmose Inverse	- Recyclabilité des membranes - Corrosion ou altération - Nettoyage / épuration / Lavage chimique	- Physique et Chimie des interfaces et des surfaces - Modélisation - Microbiologie

75 - Développement des techniques de diagnostic et de traitement des sols

En Europe, la pression environnementale et sanitaire dans les zones urbaines et péri-urbaines s'amplifie, en particulier en ce qui concerne la pollution des sols. Dans les pays en voie de développement ces enjeux sont tout aussi importants.
900 sites pollués sont actuellement reconnus en France et 200 à 300 000 sites sont potentiellement à risques. Aujourd'hui, le marché des traitements ne représente qu'un chiffre d'affaires d'environ 80 millions d'euros et son développement reste sous la dépendance de l'action réglementaire et des moyens financiers que les entreprises sont prêtes à consacrer à cet investissement.
Un certain nombre de polluants comme les organochlorés ou les métaux lourds sont encore difficilement identifiables, alors même que le risque de transfert dans les nappes d'eaux souterraines est réel. Le développement de nouvelles techniques de diagnostic mais aussi de traitement est donc une priorité.
Dans ce domaine les coûts d'accès aux Technologie comme la mobilisation internationale et politique seront des facteurs clés de succès.

Liens : élimination des métaux lourds dans les boues et les effluents

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	**croissance**	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	**diffusion**	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	**forte**	moyenne	faible	inexistante
Europe	**forte**	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	**moyenne**	faible	inexistante
Europe	**forte**	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Environnement - Santé	- Dépollution des sols et des nappes phréatiques - Evaluation des risques environnementaux - Traitement des pollutions accidentelles des sols avec les industries à risque	- **Développement des techniques de diagnostic et de traitement des sols**	- Combustion - Traitements physiques et physico-chimiques	- Organochlorés - Métaux lourds	- Chimie - Physique - Biologie - Biotechnologie - Combustion - Traitement des effluents gazeux et liquides

76 - Outils de gestion et d'évaluation des risques environnementaux et sanitaires

La sensibilité croissante de l'opinion et le besoin, pour les industriels, de donner des garanties de qualité sanitaire et environnementale à leurs produits, mais aussi à la production, ont créé, ces dernières années, une demande croissante en gestion et évaluation des risques environnementaux et sanitaires. Cette demande se traduit par la nécessité de disposer d'outils permettant le suivi et la mesure d'un certain nombre de paramètres (nature / taux de polluants…) et adaptés aux produits spécifiques à contrôler (métaux lourds, dioxines…)
Quatre domaines technologiques répondent actuellement à cet enjeu :

- les biomarqueurs,
- les capteurs et microsystèmes pour la surveillance de l'environnement et de la santé,
- les biocapteurs et les techniques de mesure dans différents milieux pour des molécules complexes,
- les outils logiciels d'évaluation et de gestion des risques.

Les contraintes environnementales, et en particulier les normes mises en place, imposent des précisions de mesure de plus en plus fines.

Liens (cf. les mentions en italiques de la grille ci-dessous).

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Santé - Environnement - Agro-alimentaire	- Mesure pollution air/eau - Politique de prévention des risques industriels - Protection des personnes en milieu dangereux - Détection des bactéries dans l'alimentaire	**Gestion et évaluation des risques environnementaux et sanitaires**	- Biomarqueurs - Techniques de mesure dans différents milieux pour molécules complexes - Outils logiciels d'évaluation et de gestion des risques - Instrumentation - *Microsystèmes* - *Biocapteurs* - *Capteurs intelligents* - *Sûreté des systèmes*	- Fiabilité des prévisions - Problèmes de bifurcations (changement de phase transitoire de percolation…) - Transition de phase - Phénomènes non linéaires - Prise en compte des effets chroniques - Transfert des conclusions écotoxicologiques à l'homme - Reconnaissance du génome - Sélection des formes pathogènes - Multifonctionnalité - Microlithographie - Microfluidique - *Techno. logicielles pour les systèmes temps réel ou contraint* - *Techno. logicielles pour la gestion des données et du contenu* - … Et divers autres points critiques relevant des technologies citées ci-contre et évoquées par ailleurs	- Modélisation - Simulation - Analyse numérique - Traitement du signal - Informatique logicielle - Physique, chimie et biologie (toutes branches dont relèvent les phénomènes mesurés)

Technologie du Vivant – Santé - Agroalimentaire

77 - Ingénierie des protéines

L'ingénierie des protéines regroupe l'ensemble des outils et méthodes permettant la connaissance des propriétés, de la structure et du fonctionnement d'une protéine ainsi que leur amélioration.
L'ingénierie des protéines permet d'accroître la connaissance de la structure et du fonctionnement des gènes et a ainsi de nombreuses applications (synthèse d'enzymes, modification de propriétés d'anticorps,…). Elle constitue un enjeu fort dans les domaines de la pharmacie, de l'agroalimentaire,…
La cristallisation, la prédiction des structures 3D, la dynamique des structures et l'utilisation de l'IRM seront des éléments déterminants pour progresser dans ce domaine.

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Pharmacie - Enzymes industrielles - Agroalimentaire - Agriculture	- Synthèse d'enzymes - Modification de propriétés d'anticorps - Modification de la stabilité, biodisponibilité efficiente d'un médicament	- Adaptation d'une molécule à des fonctions particulières	- **Ingénierie des protéines**	- Cristallisation - Prédiction des structures 3D - Dynamique des structures - IRM - Production industrielle	- Biologie structurale - Biophysique - Génétique - Biochimie

78 - Transgénèse

La transgénèse est la modification du génome d'un organisme par génie génétique. Elle permet une intégration stable de l'ADN étranger et peut être réalisée dans des microorganismes, des cellules de plantes ou d'animaux. C'est un moyen de tirer partie de la variabilité génétique pour adapter les plantes et les animaux aux besoins socio-économiques.
En particulier, la transgénèse permet d'adapter la composition des matières premières agricoles à la demande industrielle (aptitude à la transformation) et des consommateurs (par exemple : protéines non allergéniques) mais aussi d'optimiser des outils biologiques (microorganismes – enzymes).
Le succès de telles pratiques réside principalement dans leur acceptabilité par les consommateurs (action des média; éducation), dans des mécanismes de régulations de l'offre (mise en place de normes et encadrement des pratiques) et dans les progrès scientifiques. Le cas des OGM en est une illustration.

La transgénèse a aussi de nombreuses applications dans le domaine de la santé où elle est mieux acceptée car elle vise à résorber des maladies graves.

Liens :
- ***détection et analyse des risques pour l'environnement liées aux OGM***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Pharmacie - Médecine - Agriculture - Industries alimentaires - Environnement - Secteur minier - Pétrole	- Production de protéines dans le lait et les plantes - Protéines hypoallergiques - Diminution des coûts de transformation des produits agricoles - Optimisation de la composition des huiles - Fabrication d'arômes - Hormones de croissance - Protéines recombinantes à usage thérapeutique	- Modèles animaux / cellulaires / tissulaires - Production de protéines et d'organes pour xénogreffes et animaux - Amélioration de la qualité d'usage des produits agricoles - Optimisation des outils biologiques de transformation (enzymes, microorganismes) - Stabilité microbiologique des aliments	- **Transgénèse**	- Contrôle de l'expression des transgènes - Introduction ciblée de l'ADN - Connaissance des voies métaboliques devant être transformées - Rendement des transformations	- Génétique - Génomique - Biologie du développement

79 - Détection et analyse des risques pour l'environnement liés aux OGM

Les OGM (Organismes Génétiquement Modifiés) sont issus de la modification du génome d'un organisme par génie génétique. Ces nouveaux organismes, en particulier végétaux, sont apparus sur le marché récemment et offrent des qualités culturales et gustatives améliorées. Cependant la pression sociétale est aujourd'hui très importante contre ces nouveaux produits. La logique du principe de précaution a été appliquée en France et les besoins en détection et analyse des risques pour l'environnement sont importants. Par ailleurs, en mai 1998 une réglementation sur l'étiquetage des denrées présentant des OGM a été adoptée.

Une diffusion large des OGM requiert dans un premier temps une évaluation des risques sur le plus long terme et la diminution du coût des marqueurs

Liens :
- ***transgénèse***
- ***capteurs intelligents***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Autres points critiques	Domaines scientifiques concernés
- Agroalimentaire - Santé - Agriculture - Aquaculture	- Dépollution des sols - Sécurité des aliments	- **Détection et analyse des risques pour l'environnement liés aux OGM**	- Biopuces - Biocapteurs (capteurs clé-serrure associé à un traitement du signal évolué) - Analyse biomoléculaire	- Coûts - Fiabilité	- Biologie - Chimie - Métrologie

80 - Thérapie génique

La thérapie génique consiste à aller réparer un gène porteur de pathologie et à recoder le génome du patient.
L'action porte donc sur les causes des maladies plutôt que leurs symptômes.
Les applications potentielles concernent toutes les pathologies ; l'implication des industriels est aujourd'hui très importante en France.
L'enjeu économique est lié aux nouvelles perspectives thérapeutiques qui concernent dans un premier temps les maladies dues aux déficiences d'un seul gène.
Bien que les freins technologiques et psychologiques soient encore nombreux, les enjeux économiques sont importants : en cas de succès de la technologie, le marché mondial pourrait atteindre quelques milliards d'Euro en 2020.

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Santé	- Cancer - Maladies génétiques diverses	- Thérapie - Soins des maladies génétiques et acquises	- **Thérapie génique**	- Expression des gènes - Vecteurs - Production industrielle	- Biologie cellulaire (Cultures de cellules) - Vectorologie - Génétique

81 - Clonage des animaux

Le clonage est une technique de reproduction asexuée d'un organisme à partir de ses cellules insérées dans un ovule dont le noyau a été supprimé. Le clonage des animaux est aujourd'hui globalement maîtrisé mais des incertitudes scientifiques persistent en ce qui concerne en particulier la culture de cellules et le transfert de noyau. L'enjeu du clonage est de permettre des progrès en particulier dans la recherche de nouveaux médicaments, sur les maladies, et pour les tissus, organes,…
Au-delà, les débats sur l'éthique du clonage humain impacteront à l'évidence sur les développements de cette technologie.

Les aspects éthiques du clonage influenceront à l'évidence le développement de cette technologie.

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Santé - Agriculture - Pharmacie	- Production des protéines dans le lait - Modèle de mucoviscidose	- Sélection génique - Transgénèse - Modèles animaux	- **Clonage des animaux**	- Culture de cellules - Transfert de noyau	- Biologie du développement

82 - Criblage de molécules actives

Le criblage de molécules actives est une méthode de repérage rapide d'une fonction connue ou inconnue d'une molécule en réponse à un affecteur appliqué à une cellule cible.
L'objectif est ici de mettre en place des méthodes de criblage à haut débit afin de pouvoir extraire et séparer des molécules, et en particulier des protéines dites précieuses présentes dans certains végétaux, et de permettre la synthèse de molécules thérapeutiques y compris des anticorps monoclonaux humains.
Actuellement le nombre de gènes connus est encore limité ; cependant à horizon 5 ans ce nombre aura augmenté (cette augmentation est d'ailleurs continue). Dans ce contexte, le criblage de molécules actives apparaît clé.

Certains freins existent encore pour permettre le développement de ces pratiques comme la maîtrise de la miniaturisation ou encore la gestion de l'interface microélectronique, micromécanique et biologie.

Liens :
- ***techniques de synthèse et de test de débit***
- ***biopuces et biocapteurs***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Pharmacie - Agrochimie	- Synthèse de molécules thérapeutiques y compris anticorps monoclonaux humains	- Pharmacodynamique - Métabolisme - Toxicologie	- **Criblage de molécules actives**	- Identification fonction (criblage phénotypique) - Culture cellulaire - Modèles animaux - Miniaturisation	- Biologie - Physique (microfluidique, micromécanique) - Electronique / Microélectronique - Nanotechnologie

83 - Greffe d'organe

En France, 6000 malades sont en attente d'une transplantation d'organes. Aux Etats-Unis, 4000 personnes meurent chaque année dans l'attente d'un organe. Les organes sont encore insuffisamment disponibles pour des greffes. Ceci conduit à imaginer des stratégies alternatives à la greffe d'organe, même si celle-ci peut encore progresser en particulier en terme d'immunologie et de compatibilité.

Plusieurs pistes sont envisageables à ce stade : les organes artificiels, les xénogreffes qui font appel à des organes d'animaux « humanisés » mais aussi la fabrication de « néo-organes » à partir de cultures cellulaires.

Les organes artificiels peuvent constituer une alternative possible à la greffe classique pour éviter les difficultés immunitaires et les rejets. Leur intérêt réside également dans la possibilité de disposer d'organes pour les malades sans être tributaire de donneurs. Cependant, l'assurance de la compatibilité avec le receveur reste un frein essentiel.

En ce qui concerne les xénogreffes, il est à noter que les animaux transgéniques (exemple du porc) peuvent être utilisés comme donneurs d'organes pour des xénogreffes mais des évolutions sont encore attendues (en particulier en ce qui concerne les risques potentiels de transmission de virus de l'animal à l'homme). Dans tous les cas se pose la question des limites éthiques de telles pratiques.

L'étape clé de la greffe d'organe consiste à relier le système vasculaire (et éventuellement le système spécifique à l'organe) de l'organe à celui qui reçoit la greffe mais aussi à assurer la sécurité de la greffe (absence de transmission d'agents pathogènes, contrôle de la compatibilité immunologique).

Par ailleurs, le recours à la greffe d'organe est souvent source d'économie en terme de dépenses de santé.

Dans l'attente du développement des cellules souches, les greffes d'organes constituent une priorité. Dans le cas, à terme, d'un succès sur l'utilisation des cellules souches, le recours aux greffes d'organe sera a priori plus limité.

Liens : thérapie cellulaire ; organes bio-artificiels

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Santé	- Implants - Prothèses	- Implantation d'organes - Restauration de fonctions déficientes	- **Greffe d'organe**	- Transgénèse ciblée - Immunologie / biocompatibilité - Connaissance des mécanismes régulés - Transmission d'agents pathogènes (sécurité) - Sélection génétique	- Immunologie - Virologie - Micromécanique - Microélectronique - Biomatériaux

84 - Thérapie cellulaire

La thérapie cellulaire consiste en l'apport à un organisme de cellules humaines (autres que les globules rouges et les plaquettes) dans le but de prévenir, traiter ou atténuer une maladie. Les cellules peuvent venir du patient lui-même ou d'un donneur compatible.
La thérapie cellulaire permet en particulier d'éviter le remplacement d'un organe et de restaurer certaines fonctions déficientes. Ces applications en font des enjeux économiques et sociaux importants dans le domaine de la santé. Elles concernent par exemple la maladie d'Alzheimer (20 millions de personnes dans le monde), la maladie de Parkinson (4 millions en 1990) et le diabète qui est en constante progression et devrait toucher 300 millions de personnes en 2025.
L'un des facteurs clés de succès pour le développement de cette technologie est la maîtrise de la culture et du contrôle de la différenciation des cellules souches.

Liens :
- ***greffe d'organe***
- ***organes bio-artificiels***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Santé	- Diabète - Maladies neuro-dégénératives - Maladies génétiques	- Restauration de fonctions déficientes	- **Thérapie cellulaire**	- Cultures cellules souches	- Biologie du développement - Biologie cellulaire - Génétique

85 - Organes bio-artificiels

Les organes bio-artificiels constituent une application de la thérapie cellulaire. En effet, les organes bio-artificiels consistent en des organes créés à partir de cellules sur des polymères biodégradables.
Ces organes permettraient à terme de ne plus faire appel aux donneurs et d'améliorer la compatibilité des greffes (les cellules étant directement issues du donneur) voire d'éviter les contaminations ou en diminuer les risques.

Aujourd'hui, une première application concernant la peau existe. Au-delà des avancées technologiques nécessaires, les questions réglementaires et financières liées à ces pratiques restent des freins potentiellement importants.

Liens :
- ***thérapie cellulaire***
- ***greffe d'organe***
- ***procédés biotechnologiques et biomimétiques de synthèse de minéraux et polymères***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité	
Applications industrielles et commerciales	naissance		diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Santé	- Diabète - Brûlure de la peau - Greffe vasculaire - Greffon osseux, cartilage	- Restauration de fonctions déficientes	- **Organes bio-artificiels**	- Cellules fonctionnelles - Matériaux	- Biologie cellulaire

86 - Imagerie médicale

L'imagerie médicale a pour objet d'obtenir des images de l'intérieur du corps humain.
Elle met en œuvre différents principes physiques (endoscopie, ultrasons, rayons X, résonance magnétique nucléaire, rayons gamma…).
Elle permet aux médecins d'explorer le corps humain de plus en plus finement et ainsi d'établir des diagnostics de plus en plus précis (compréhension directe de la physiologie et de la pathologie chez l'homme - cerveau en particulier). D'autres applications sont possibles, comme le suivi et l'optimisation des traitements ou encore l'aide à la chirurgie.
Endoscopie mise à part, elle offre en outre l'avantage d'être « non invasive ».
Le rythme de l'innovation est élevé et le marché est en forte croissance. L'optimisation des coûts reste cependant un enjeu clé dans ce domaine.

Liens : cf. les mentions en italiques de la grille ci-dessous.

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	Forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	Forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	Forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	Forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Médecine - Pharmacie	- Chirurgie - *Chirurgie assistée par ordinateur (GMCAO)* - Obstétrique - Imagerie cérébrale et neurochirurgique - Suivi thérapeutique en cancérologie - Cardiologie - Etude du mode d'action d'un nouveau médicament - *Outils de santé à la disposition des consommateurs*	**Imagerie médicale**	- Endoscopie - Ultrasons - Rayons X - Résonance magnétique nucléaire (IRM) - Gamma caméra + marqueurs	- Source des rayonnements (au sens large : génération du phénomène physique utilisé pour interagir avec le milieu) - Capteur (récupération du signal né de l'interaction précitée) - Restitution de l'image, soit, schématiquement, 4 niveaux de traitement du signal : conversion en image du signal précité, filtrage du bruit etc., passage à une image 3D, superposition multimodale (ex. : rayons X + gamma caméra) - *Techno. logicielles pour la gestion des données et du contenu* (analyse d'image, reconnaissance des formes…) - *Techno. logicielles de réalité virtuelle* (synthèse d'images 3D) **Autres points critiques** Accès aux technologies (coût)	- Optique - Chimie - Biologie - Médecine nucléaire - Opto-électronique - Traitement du signal - Informatique logicielle - Mécanique

87 - Chirurgie assistée par ordinateur (GMCAO)

Les GMCAO (Gestes Médico-Chirurgicaux Assistés par Ordinateur) regroupent, en premier lieu, tous les éléments qui pourront assister un praticien dans la sélection d'une stratégie optimale pour un acte chirurgical. L'utilisation d'outils permettant la visualisation de toutes les informations disponibles, et particulièrement des images tridimensionnelles, est donc nécessaire ainsi que la fusion de ces informations pour constituer un modèle. Au-delà de cette assistance, l'étape suivante consiste à robotiser l'acte chirurgical (par exemple dans la chirurgie orthopédique). Une autre application est la téléchirurgie.

La chirurgie assistée par ordinateur permet non seulement de pratiquer une chirurgie peu invasive mais aussi d'optimiser l'acte et ses risques (via des simulations d'intervention par exemple). Ces avantages constituent des enjeux importants au regard de la demande de confort et de sécurité des malades.

Liens : cf. les mentions en italiques de la grille ci-dessous.

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
Médecine	- Chirurgie cardiaque - Chirurgie neurologique - Chirurgie orthopédique - …	**Chirurgie assistée par ordinateur (GMCAO)**	- Robotique - *Imagerie médicale* - *Techno. logicielles pour la gestion des données et du contenu* (analyse d'image, reconnaissance des formes, systèmes à base de règles…) - *Ergonomie de l'interface homme-machine* - *Techno. logicielles de la langue et de la parole* (commande vocale…) - *Techno. logicielles pour le transport de données et la sécurité des réseaux* - *Techno. logicielles de réalité virtuelle* (synthèse d'images 3D, simulation…)	- Retour d'information - Automatisation des gestes - Transmission de l'information (longue distance - critique à long terme) - … Et divers autres points critiques relevant des technologies citées ci-contre et évoquées par ailleurs	- Mécanique - Electronique - Modélisation - Informatique logicielle

88 - Miniaturisation des instruments de recherche médicale

Aujourd'hui l'utilisation des modèles animaux est clé dans la recherche scientifique dans le domaine de la Santé (étude de maladies ou encore études post-génomiques). Cette utilisation porte principalement sur des petits animaux.

Le développement d'une instrumentation adéquate est donc requise et, en particulier, la miniaturisation des instruments apparaît être un enjeu important, en particulier pour les méthodes d'imagerie et d'investigation physiologique.

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Médecine - Pharmacie	- Modèles pour l'étude de maladies - Analyse fonctionnelle des souris transgéniques - Etudes préchimiques	- **Miniaturisation des instruments de recherche médicale**	- Méthodes d'imagerie et d'investigations	- Instrument pour la vision et la manipulation - Miniaturisation des méthodes d'imagerie	- Mécanique - Mécanique optique - Physique - Physiologie

89 - Traçabilité

La traçabilité correspond au suivi et à l'optimisation de la circulation des produits agricoles et alimentaires en vue d'assurer la sécurité des aliments. Les crises alimentaires (ESB, listérioses) ont nettement renforcé depuis ces dernières années la nécessité pour les consommateurs d'identifier l'origine et la qualité des produits qu'ils achètent et pour les producteurs d'en prouver la qualité.
Dans ce contexte, des outils comme par exemple les marqueurs, les microsatellites, l'IRM (génétique et physico-chimique) sont de plus en plus nécessaires pour gérer et maîtriser les risques.

Les freins actuels pour le développement et la diffusion de ces techniques restent le coût d'analyse encore élevé des aliments et la coordination / organisation de filière et la réglementation existante, Au-delà, la miniaturisation des marqueurs (en particulier pour les animaux) est un facteur clé de succès.

Liens :
- ***capteurs intelligents***
- ***objets communicants autonomes***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Agriculture - Industries agroalimentaires	- Suivi et optimisation de la circulation des produits alimentaires (du producteur au consommateur - Détection des toxines - Gestion et maîtrise des risques - Sécurité alimentaire - Optimisation de la chaîne du froid - Réduction des pertes alimentaires	- **Traçabilité**	- Capteur - Etiquette intelligente - Logistique	- Méthodologie de gestion des risques - Miniaturisation des marqueurs **Autres points critiques** - Définition de critères - Quantification des analyses	- Biochimie et physique (méthodes) - Recherche opérationnelle - Informatique

90 - Marquage métabolique des aliments

Les relations entre l'alimentation et l'état de santé des consommateurs représentent une cible privilégiée de la réflexion de la recherche publique et de l'industrie alimentaire. Quatre champs peuvent être cités dans ce domaine : la toxicologie et la sécurité alimentaire, l'alimentation et la prévention, le comportement alimentaire des consommateurs et l'évaluation des consommations alimentaires. La nutrition animale est également concernée.
En fait, on distingue l'effet santé des aliments (ex : produits fermentés et probiotiques exerçant un effet protecteur au niveau du tube disgestif) et leur effet sur la santé (exemple des risques de cancer liés à la consommation de poisson contaminé par des polluants).

Dans ce domaine, le marquage métabolique constitue un enjeu important. Le marquage métabolique répond à la nécessité de mieux identifier les « effets santé » des aliments. La problématique réside en particulier dans le positionnement d'un aliment par rapport à la réglementation liée à l'exploitation d'un médicament.

Le marquage métabolique des aliments constitue alors un appui à la conception d'aliments de santé et permet une meilleure compréhension des effets long terme des aliments sur la santé. Le marquage métabolique répond ainsi à une demande forte de la part des consommateurs.

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne		faible	inexistante
Europe	forte		moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Agriculture - Industries alimentaires	- Conception d'aliments Santé (fonctionnels) - Etude de la biodisponibilité des nutriments - Analyse de toxicité	- Développement de méthodes non invasives de mesure des effets métaboliques des aliments - Validation des « allégations » santé des aliments - Sécurité des aliments	- **Marquage métabolique**	- Validation sur l'homme des essais sur animaux - Validation des modèles cellulaires	- Nutrition - Science des aliments - Toxicologie

91 - Technologie « douces » pour la préservation de la qualité des aliments

Les technologies douces regroupent des domaines comme les hautes pressions, lumières, champs électriques et champs magnétiques pulsés…. Dans ce domaine sont exclus les traitements chimiques ou biologiques.
L'enjeu réside dans la préservation des propriétés nutritionnelles et organoleptiques des aliments tout en assurant leur sécurité mais aussi dans la conservation du caractère « naturel » des matières premières.
Les freins à l'utilisation de ces techniques sont de deux ordres :
scientifiques :

- la qualité nutritionnelle des produits traités doit être mieux adaptée, ainsi que l'interaction entre les différences Technologie douces ;
- les temps de traitement sont encore longs au regard de leur efficacité ;
- certains procédés demandent encore des améliorations comme les procédés de haute pression en continu et les champs électriques.

économique : le frein majeur reste le coût des installations et l'offre des fournisseurs quant à son adaptabilité au secteur agroalimentaire

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	**croissance**	maturité	
Applications industrielles et commerciales	naissance		diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte		moyenne	faible	inexistante
Europe	**forte**	Moyenne	faible	inexistante	

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte		moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne		faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Agriculture - Industries alimentaires	- Jus de fruit goût « produit frais » - Traitement des ovoproduits - Aliments nouveaux	- Assurer la préservation des propriétés nutritionnelles et organoleptiques des aliments tout en assurant leur sécurité alimentaire - Modification des propriétés fonctionnelles des aliments	- **Technologie « douces » pour la préservation de la qualité des aliments**	- Compréhension des effets sur les micro-organismes **Autres points critiques** - Réduction des coûts de traitements	- Génie des procédés - Science des aliments - Microbiologie - Science de la consommation (acceptabilité de nouvelles technologies)

92 - Biocapteurs, biopuces

Les biocapteurs sont des capteurs dont l'élément sensible est soit une enzyme, soit un morceau d'ADN (biopuces). Ils permettent la détection d'espèces moléculaires dans le domaine de l'environnement (pollution des eaux ou des sols par les pesticides, par ex.), de l'agro-alimentaire (présence de bactéries) et de la santé.

Dans ce dernier domaine, les biocapteurs ont donné naissance aux biopuces, qui sont des microsystèmes d'analyse biologique ou biochimique, combinant un capteur et un dispositif de traitement du signal. Elles permettent aujourd'hui d'étudier les gènes des êtres vivants et l'expression de ces gènes. Elles s'appliqueront sans doute également un jour à l'étude des protéines. Le terme biopuce recouvre deux types de composants : les puces à ADN (DNA chip), qui permettent de « lire le génome », et les laboratoires sur puce (lab on a chip), qui permettent d'extraire et de préparer l'ADN à partir d'un prélèvement (par exemple, de sang ou de salive) ou d'une biopsie.

Les biopuces se traduisent par d'importants avantages en termes de :
- changement d'échelle des acquisitions et traitements des données,
- diminution des volumes de prélèvement,
- parallélisation et augmentation du nombre d'analyses,
- réduction des coûts (réactifs) et des temps d'acquisition.

Cela se traduit par la possibilité d'analyses massives, particulièrement précieuse dans les travaux de séquençage du génôme humain.

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Santé - Pharmacie - Agriculture - Agro-alimentaire - Environnement	- Contrôle de la glycémie (diabète), de la pression artérielle, … - Génotypage haute résolution - Diagnostic - Identification de souches microbiennes - Détection des odeurs, nez artificiel - Analyse intégrée du transcriptome - Télémédecine - Surveillance de l'eau potable - Surveillance de l'air - Surveillance de la chaîne agro-alimentaire	Analyse multiparamétrique de données biologiques (biométrie)	**Biocapteursbiopuces**	- Miniaturisation - Analyse et traitement des données - Choix des sondes et conception fonctionnelle de la puce - Synthèse et greffage des sondes - Fonctionnalité des supports - Intégration de méthodes miniaturisées de production de préparation et d'analyse - Stabilisation et durée de vie - Biocompatibililté - Validation, test	- Génomique - Electronique - Informatique - Chimie - Microfluidique - NanoTechnologie

Transport – Aéronautique

93 - Architecture électrique

Les architectures électriques assurent la régulation de la distribution de la puissance électrique pour garantir la bonne marche des diverses fonctionnalités embarquées à bord des véhicules. Elles sont de plus en plus conçues dans une logique de systèmes, ou modules. La conception de véhicules intègre aujourd'hui des démarches d'analyse des architectures électriques, à des fins de réduction des coûts, et d'optimisation des systèmes embarqués, ce qui remet d'ailleurs en cause tout le système de relations des constructeurs avec leurs sous-traitants.

L'enjeu majeur de cette technologie est de répondre à une augmentation des besoins électriques embarqués pour satisfaire des prestations nouvelles (direction électrique, électrification des fonctions,…), tout en réduisant les coûts des composants (l'analyse du marché européen montre à l'horizon 2003 un accroissement de l'ordre de 30 %, qui ne peut être financé que par une baisse au moins équivalente du coût des fonctions actuelles). Dans une plus large perspective, les aspects de normalisation (création de nouveaux standards électriques à définir - voltage de 14 à 500 V, courant alternatif ou continu…), de même que les réglementations sur le domaine sont à clarifier.

La position française en ferroviaire est plutôt forte dans ce domaine technologique.

Liens (autres que les mentions en italiques de la grille ci-dessous) :

- ***architecture électronique - informatique répartie et multiplexage dans les véhicules***
- ***compatibilité électromagnétique***
- ***véhicules intelligents et communicants***
- ***sûreté des systèmes (embarqués et d'infrastructure)***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Transport (aéronefs, ferroviaire, navires, automobile, véhicules industriels) - Espace	- Commandes électriques - Moteurs d'avions, de fusées - Groupes motopropulseurs - Véhicules hybrides - Véhicules électriques	- Alimentation organe électrique - Optimisation - Distribution et régulation de la puissance électrique - Transfert de puissance	- **Architecture électrique**	- Réseaux de bord - Convertisseurs DC/DC - Electronique de puissance - Bus régulé en tension - Composants - Composants à haute température - *Composants d'interconnexion et d'interface* - Actionneurs électriques	- Sciences Pour l'Ingénieur - Electronique

94 - Architecture électronique - informatique répartie et multiplexage dans les véhicules

L'électronique remplit différentes fonctions de confort, sécurité et personnalisation des véhicules.
L'ensemble des constructeurs (notamment automobiles) conçoivent désormais des véhicules dans la logique d'une offre de services maximale à bord.
Les problèmes à résoudre pour proposer au marché de telles facilités sont multiples : d'une part, la pérennité des systèmes embarqués doit être assurée, et, dans la mesure où l'on se dirige de plus en plus vers un accès à une information située à l'extérieur et non plus en circuit fermé, les systèmes utilisés doivent être évolutifs. L'évolution permanente des télécommunications a donc des implications importantes sur les architectures existantes. Les protocoles de communication restent encore à normaliser au niveau mondial. Par ailleurs, ces architectures étant embarquées, les problèmes d'optimisation de l'espace et des systèmes se posent (partage de la puissance de calcul entre fonctionnalités , répartition de systèmes embarqués entre habitacle et sous-capot, fiabilité des systèmes…)
La France a une position forte dans le ferroviaire sur le plan industriel et commercial avec des architectures encore assez dédiées (spécificités systèmes).

Liens (autres que les mentions en italiques de la grille ci-dessous) :

- ***capteurs intelligents***
- ***sûreté des systèmes (embarqués et infrastructures)***
- ***architecture électrique***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Tous véhicules, systèmes de transport en général - Espace	- Fonctions télématiques et multimédia - Copilote automatique - *Robotique mobile en milieu hostile* - *Véhicules intelligents et communicants* - *Ergonomie de l'interface homme-machine*	- Assurer l'innervation du véhicule pour la surveillance, le contrôle, la commande des systèmes électronisés - Répartition des fonctions systèmes - Gestion des données - Régulation - Automatismes locaux - Traitement de signal délocalisé	**Architecture électronique - informatique répartie et multiplexage dans les véhicules**	- Interopérabilité des fonctions - Portabilité des logiciels - Structure des calculateurs embarqués - Intégration composants dédiés hard/soft - Composants mémoire - Standard bus - Miniaturisation pour des fonctions données - Choix d'architecture (centralisée / répartie) - Protocoles de communication - Méthodes de test - Lien entre véhicule et extérieur - Obsolescence des composants - *Composants d'interconnexion et d'interface* - *Techno. logicielles de l'informatique distribuée* - *Techno. logicielles pour les systèmes temps réel ou contraint* - *Techno. logicielles pour le transport de données* - *Compatibilité électromagnétique*	- Informatique logicielle - Electronique

95 - Compatibilité électromagnétique

La compatibilité électromagnétique est la limitation à des niveaux acceptables des phénomènes de parasitage (interférences électromagnétiques) entre matériels électriques, électroniques et informatiques.
Dans des environnements de plus en plus complexes (architectures électriques et électroniques de plus en plus denses, sources d'émissions de plus en plus nombreuses), la compatibilité électromagnétique est un enjeu fort pour assurer la sécurité et la fiabilité du fonctionnement des appareils électriques et électroniques, dans le respect des réglementations (notamment européennes).
Il s'agit donc de pouvoir concevoir des appareils et systèmes robustes, capables de résister aux Interférences Electromagnétiques dans des environnements de plus en plus perturbés.

Liens :
- ***architecture électrique***
- ***architecture électronique - informatique répartie et multiplexage***
- ***véhicules intelligents et communicants***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Tous	- GSM des avions - Gestion des bandes RF - Véhicules résistants aux agressions électromagnétiques - Gestion du spectre de fréquence (télécoms) - Conception de satellites - Signalisation ferroviaire	- Sûreté de fonctionnement en environnement perturbé - Optimisation des architectures électroniques / ondes	- **Compatibilité électromagnéti-que**	- Modélisation du phénomène - Moyens de protection des modules électriques - Conception robuste aux Interférences Electromagnétiques (IEM) - Mesure de phénomènes transitoires	- Sciences Pour l'Ingénieur - Electronique

96 - Composants électroniques de moyenne puissance

Les composants électroniques de moyenne puissance (entre 100 W et 100 kW) sont utilisés pour le contrôle de l'énergie à moyenne puissance .
Ils trouvent des applications dans la commande de moteurs et dans les alimentations en énergie, principalement pour l'automobile et l'électroménager.
L'évolution actuelle de l'électronique de moyenne puissance présente une intégration croissante des composants et des sous-systèmes qui les exploitent. L'intégration de la commande au plus près de la puissance modifie les pôles de compétences entre les acteurs industriels.
Si le silicium conserve sa position dominante, d'autres matériaux comme le carbure de silicium sont susceptibles de prendre une place conséquente dans le futur.

Liens :
- ***microélectronique silicium***
- ***véhicules intelligents***
- ***architecture électrique***
- ***architecture électronique, informatique répartie et multiplexage***
- ***amélioration des performances d'ensemble***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	Maturité
Applications industrielles et commerciales	naissante	diffusion	Généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	Inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	Inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	Inexistante
Europe	forte	moyenne	Faible	Inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Electroménager - Transports (automobile, aéronautique, ferroviaire, …) - domotique	- commande de moteur - machine outil - …	- Toutes les fonctions concernant le génie électrique en moyenne puissance (protection, commande de moteur, commutation, transformation, alimentation, contrôle, …)	- **Composants électroniques de moyenne puissance**	- Puissance intelligente (smart power) - Passivation - Encapsulation - Intégration - Elaboration de nouvelles structures - Nouveaux matériaux - Amélioration de la fiabilité - coûts	- génie électrique - matériaux - thermique

97 - Sûreté des systèmes (embarqués et des infrastructures)

La sûreté des systèmes peut se décliner en termes de fiabilité, de disponibilité, de maintien en fonction (éventuellement en mode dégradé), de résistance aux agressions de l'environnement ou d'automatisation des fonctions de sécurité.

Sur le plan technique, elle se traduit largement par la même problématique que celle des systèmes temps réel, puisqu'elle passe par la capacité du système :

- à détecter les changements survenus dans son environnement, les erreurs et les dysfonctionnements,
- et à y apporter la réaction appropriée en respectant des contraintes de temps très strictes.

Sur le plan matériel, ces systèmes nécessitent l'emploi de micro-contrôleurs ou de processeurs spécialisés robustes en environnement hostile et tolérant les fautes. Les technologies requises sur le plan logiciel sont évoquées par ailleurs.

La mise en œuvre de systèmes temps réel à la fois réactifs et sûrs de fonctionnement constitue un enjeu stratégique particulièrement important dans des domaines tels que : les véhicules intelligents, l'avionique modulaire, le contrôle-commande industriel, la régulation et les automatismes, les communications multimédia…

Liens (autres que les mentions en italiques de la grille ci-dessous) :

- ***architecture électronique - informatique répartie et multiplexage***
- ***architecture électrique***
- ***évaluation non destructive de l'endommagement des matériaux et des assemblages***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Productique (et tous secteurs industriels utilisateurs) - Robotique - Transports - Télécommunications - Sécurité - Défense - Spatial - Santé - Energie - Electronique grand public	- *Robotique mobile en milieu hostile* - *Outils de gestion et d'évaluation des risques environnementaux et sanitaires* - *Véhicules intelligents et communiquants* - *Représentation et gestion des processus de l'usine numérique* - Conduite de centrale - Commande de robots - Commande d'atelier - Suspension, direction, freinage pilotés - Commande de groupes moto-propulseurs - Contrôle aérien - Navigation automatique d'aéronef - Poursuite de missiles - Tous systèmes d'armes - Signalisation - Métro automatique	- **Sûreté des systèmes**	- *Technologies logicielles pour les systèmes temps réel ou contraint* - Réseaux de communication déterministes	- *Capteurs intelligents* - *Mesure et test de systèmes* - Robustesse, fiabilité et insensibilité à l'environnement du matériel (capteurs, micro-contrôleurs, processeurs, matériel informatique, actionneurs…) - Systèmes reconfigurables - *Interface homme/machine* - Connaissance des modes de défaillance - Mise au point des modes dégradés - Modélisation de matériaux en service - Conception et validation de la sûreté de fonctionnement temporelle	- Informatique logicielle - Informatique générale - Preuve formelle - Electronique - Modélisation - Automatique - Piézoélectricité - Mécatronique - Electromagnétisme - Electricité

98 - Ergonomie de l'interface homme-machine (pilotage de véhicules ou d'installations)

L'interface avec l'utilisateur chargé de piloter un système a un impact déterminant sur les performances de ce système, sur son acceptation par l'utilisateur et sur sa sûreté de fonctionnement globale. Pour un système donné, le mode d'interaction est largement conditionné par le rôle - plus ou moins « actif » - imparti au conducteur/opérateur et par son environnement.

Dans un contexte souvent marqué par le grand nombre des fonctions et paramètres du système, les principales composantes de l'ergonomie offerte à l'utilisateur sont :

- le choix et la hiérarchisation des informations qui lui sont données,
- le choix et la hiérarchisation des « inputs » qu'il peut adresser en retour au système (notamment dans une perspective de « partage des décisions » entre le système et le pilote).
- les supports physiques de l'interface.

Les applications à l'automobile se caractérisent notamment par l'importance du marché et par la diversité des catégories d'utilisateurs, dont il faut intégrer au maximum les comportements.

Enfin, même si l'on se limite ici au pilotage de véhicules ou d'installations, il convient de noter que le concept d'ergonomie dans l'interface homme-machine a une portée très générale ; c'est ainsi, par exemple, qu'il joue également un grand rôle dans les technologies logicielles – évoquées par ailleurs – pour la gestion des données et du contenu (formulation des requêtes, profil d'utilisateur, interfaces sans clavier…) et pour l'informatique distribuée (simplicité et universalité des interfaces).

Liens (autres que les mentions en italiques de la grille ci-dessous) : design sensoriel.

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologies (1)	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Industrie - Santé - Transports - Défense - Spatial	- Simulateur de conduite ou de pilotage - Surveillance - Pilotage d'engins - *Véhicules intelligents et communicants* - *Réseau domestique numérique* - *Robotique mobile en milieu hostile* - *Chirurgie assistée par ordinateur* - *Capteurs intelligents* - *Sûreté des systèmes (embarqués et infrastructures)* - *Offre de produits et de services de grande consommation à base de réalité virtuelle* - *Outils de santé à la disposition des consommateurs* - *Représentation et gestion des processus de l'usine numérique*	**Ergonomie de l'interface homme-machine**	1. Choix et hiérarchisation des informations données à l'utilisateur et des inputs de celui-ci 2. Supports physiques de l'interface 3. Intégration de l'interface dans le système -	1. - *Techno. logicielles pour la gestion des données et du contenu* (profil d'utilisateur, systèmes à base de règles…) - Milieu perturbé et multi-usagers - Simplification des interfaces - *Simulation, modélisation du comportement humain* 2. - Mesure de la charge - Perception sensorielle - Ecrans de visualisation/afficheurs - *Techno. logicielles de la langue et de la parole* (reconnaissance et synthèse vocale, commande vocale…) - *Techno. logicielles de réalité virtuelle* - *Capteurs de vision / capteurs d'image* - *Capteurs intelligents* - 3. - *Techno. logicielles de l'informatique distribuée* - *Techno. logicielles pour les systèmes temps réel ou contraint* - *Architecture électronique etc. des véhicules* - *Sûreté des systèmes (embarqués et infrastructures)*	- Ergonomie - Psychologie - Informatique logicielle - Electronique - Acoustique - Logique floue, réseaux neuronaux - Reconnaissance des formes

(1) Thèmes permettant de classer les « points technologiques critiques ».

99 - Amélioration des performances énergétiques d'ensemble des véhicules

Le respect de l'environnement, et de plus en plus de réglementations, incitent les industriels, et en particulier dans le domaine du transport, à concevoir des produits plus propres, en même temps que les demandes du marché les poussent vers la conception de produits toujours plus performants, innovants, confortables,… Concilier les deux exigences revient à améliorer les performances énergétiques d'ensemble des véhicules, soit en faisant évoluer les moteurs thermiques traditionnels, soit en développant de nouvelles technologie de propulsion ou de génération d'énergie (piles à combustible, véhicules hybrides, véhicules électriques,...), tout en faisant avancer la recherche sur de nouveaux matériaux et l'optimisation des architectures électriques et électroniques des véhicules. En ce qui concerne la propulsion des véhicules, il est impossible aujourd'hui de savoir si les moteurs thermiques vont céder leur place sur le marché à ces nouvelles Technologie, dont les coûts sont pour l'instant encore élevés.
L'enjeu majeur est clair : il s'agit de maîtriser totalement le procédé de combustion et trouver une source d'énergie légère, efficace, pour pouvoir intégrer des cycles de consommation prenant en compte l'utilisation réelle de tous les équipements de confort au sens large (climatisation,…).

- ***moteurs thermiques***
- ***pile à combustible***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Liens :

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Transport - Espace	- Automobile - Véhicules Industriels - Avions - Navires - Satellites	**Amélioration des performances énergétiques d'ensemble des véhicules**	- Moteurs thermiques à fort rendement - Allègement des structures - Aérodynamique - Gestion du traffic - Confinement et transport de l'énergie - Résistance au roulement - Réduction des frottements - Combustion	- Fiabilité - Performance **Autres points critiques** - Intégrer la réduction de coûts	- Combustion - Thermodynamique - Mécanique - Matériaux - Energétique - Tribologie - Aérodynamique

100 - Véhicules intelligents et communicants

Le renforcement des communications endogènes entre les organes d'un même véhicule, et exogènes entre différents véhicules et entre véhicules et infrastructures est induit par un contexte où le véhicule possède de plus en plus de fonctions informatiques embarquées. Le déploiement dans un véhicule de plusieurs réseaux de transmission numérique spécialisés, la disponibilité de mémoires embarquables de taille grandissante, l'augmentation de puissance et de capacité des micro-contrôleurs, l'intégration de capteurs de positionnement et de repérage (caméra, GPS, radar, lidar, etc.) permettent d'élargir l'assistance aux conducteurs-pilotes. Cette assistance sécurise le roulage (direction, suspension, tenue de route, freinage), accroît le confort de conduite (systèmes de climatisation, balayage, éclairage, etc.), introduit le multimédia à bord et offre de nouveaux services de voyage (depuis une aide à l'orientation, à la réservation à distance d'un restaurant). Ces services enrichissent déjà l'offre des constructeurs et des équipementiers et pourraient conduire, à un horizon de moins de 10 ans, au remplacement de nombre de fonctions électro-mécaniques actuelles par la technologie numérique (« X-by-wire »), augmentant les fonctionnalités, leur évolutivité, leur réutilisation en gamme, et accroissant de ce fait la compétitivité de l'offre industrielle. Par ailleurs, les offres des industries informatiques et des télécommunications vont exploser dans le domaine et préparent l'arrivée de la route intelligente, où l'offre de services s'étendra à la maintenance complète du véhicule, puis à l'aide à la conduite et enfin à la conduite automatique des véhicules.

Les progrès de ces technologies dépendent de la capacité des industriels à construire, faire évoluer à coût réduit et optimiser une architecture électronique fiable et évolutive, d'une part, à définir et choisir des standards de communication (notamment dans le domaine des réseaux, des langages de configuration d'architecture, des interfaces entre systèmes communicants, du diagnostic, du positionnement, etc.), d'autre part.

La portée industrielle de cette évolution (offre, coût, délai) et les enjeux induits en termes de part de marché sont considérables dans le secteur automobile et des véhicules industriels. Mais l'assistance accrue à la conduite, au confort, à la communication et au voyage complexifie « l'objet véhicule » en déresponsabilisant le conducteur : le partage des décisions et responsabilités entre le conducteur et l'intelligence embarquée devient une question fondamentale de cette évolution.

Liens : cf. les mentions en italiques de la grille ci-dessous.

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés

- Transports - Défense - BTP - Commu-nications - Espace	- Atterrissage tous temps - Pilotage automatique - Gestion de flottes services - Maintenance - « X-by-wire » - Localisation, cartographie - Info trafic - Services aux automobilistes, bureautique embarquée - Confort de conduite (climatisation, pare-brise, éclairage, vision élargie...) - Anticollision - Aide à la conduite, conduite automatique - Autoroute automatisée - Tenue de route (freinage, direction, suspension, ABS, antipatinage…) - Air Bag - Détection de l'hypovigilance - Régime moteur, réduction de la consommation et de la pollution - Transmission automatique - Assurance (détection des véhicules volés), logistique - Assistance aux biens et personnes fragiles (personnes âgées, enfants) - Automatisation des chantiers - Wagons intelligents - Intervention en milieux hostiles (sites pollués par ex)	**<u>Véhicules intelligents et commu-nicants</u>**	- Motorisation électrique et hybride - Alimentation à 42V et + - Organes d'actionnement et instrumentation - Communication entre mobiles - Réseaux de communication déterministes et sûrs - Systèmes de gestion moteur - Systèmes de gestion de l'habitacle - Systèmes de vision élargie - Systèmes d'alerte du conducteur - *Techno. logicielles de l'informatique distribuée* - *Techno. logicielles pour les systèmes temps réel ou contraint* - *Capteurs intelligents* - *Pile à combustible* - *Architecture électronique - informatique répartie et multiplexage dans les véhicules* - *Sûreté des systèmes (embarqués et infrastructures)* - *Ergonomie de l'interface homme-machine (pilotage de véhicules ou d'installations)*	- Intégration / fusion des données - Tolérance aux fautes, évitement de fautes et modes de fonctionnement - Composants standards sur étagère - Architecture modulaire, capitalisable, réutilisable, évolutive - Interopérabilité - Commande adaptative, floue, à retard - Traitement des images - Capteurs de positionnement et de repérage - Standards de communication - *Capteurs de vision / capteurs d'image* - *Techno. logicielles de la langue et de la parole* - *Techno. logicielles pour le transport de données* - ***Compatibilité électromagnétique*** - *Simulation, modélisation du comportement humain* - … Et divers autres points critiques relevant des technologies citées ci-contre et évoquées par ailleurs	- Electronique embarquée - Informatique temps réel - Informatique logicielle - Traitement du signal - Automatique - Cognitique - Simulation des systèmes complexes - Preuve formelle

101 - Moteurs thermiques

Dans une logique d'amélioration des performances énergétiques d'ensemble des véhicules, les avancées technologiques propres aux moteurs thermiques usuels sont de divers ordres : développement de carburants alternatifs évolués (Fischer Tropsch, DME), optimisation du cycle de combustion,… L'avenir du moteur thermique dépendra de ces avancées si les nouvelles technologies de propulsion atteignent des seuils de rentabilité acceptables.
La condition de succès des moteurs thermiques du futur est clairement l'amélioration du compromis consommation/ émission pour réduire les gaz (effet de serre, pollution sensible) dans un contexte économique maîtrisé.

Liens :
- ***amélioration des performances énergétiques d'ensemble des véhicules***
- ***pile à combustible***
- ***matériaux pour procédés en milieux extrêmes***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Transport	- Moteurs d'avions - Automobiles, Véhicules Industriels - Navires - Moteurs diesel propres	- Propulsion efficace et propre - Post traitement des gaz d'échappement	**Moteurs thermiques** - Filtres à particules - Réducteurs de Nox - Injection directe - Autres gaz	- Rendement - Pollution (gaz et bruit) - Puissance massique - Fiabilité - Nouvelles technologies - Matériaux céramiques - Carburants alternatifs évolués - Carburant sans soufre - Fiabilité et efficacité des systèmes de post traitement	- Thermomécanique - Mécanique - Combustion - Chimie - Intégration systèmes - Physicochimie

102 - Amélioration du coût et des performances des lanceurs spatiaux

L'enjeu des lanceurs spatiaux est d'augmenter la charge utile (typiquement les satellites mis en orbite) en réduisant les coûts de lancement. Arianespace, opérateur de transport spatial, représente un chiffre d'affaire de l'ordre de 7 MMFrs sur un marché mondial civil du lancement de satellites géostationnaires estimé à 15 MMFrs. Ce marché est très concurrentiel avec l'irruption de nouveaux intervenants (américains, russes, chinois, japonais).

Trois axes de progrès principaux apparaissent :

- la diminution volontariste des coûts par des choix de technologies (matériaux, procédés,…) et le raccourcissement des cycles,
- l'amélioration de la performance avec pour objectif d'atteindre 12 tonnes en orbite de transfert géostationnaire d'ici 2006 contre 6 tonnes aujourd'hui (augmentation de l'impulsion spécifique, allègement des structures, thermique,…),
- la maîtrise de l'environnement dynamique (basses fréquences, acoustique et chocs) qui permet au client d'alléger les besoins de dimensionnement et de qualification de sa charge utile.

La fiabilité reste dans tous les cas un pré-requis.

Liens : élaboration de composites à matrice organique ; surveillance intelligente de l'élaboration et de la mise en œuvre des matériaux ; évaluation non destructive de l'endommagement des matériaux et des assemblages ; réduction des bruits ; microélectronique silicium ; microsystèmes ; microélectronique III V ; matériaux absorbants de chocs, de vibrations, de bruits, de chaleur ; matériaux pour procédés en milieux extrêmes ; capteurs intelligents

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Missions orbite basse (observation de la Terre et desserte de l'ISS) - Missions géostationnaires (telecoms et multimédia) - Missions interplanétaires (exploration spatiale)	- Lanceurs spatiaux avec des retombées notamment sur : * la combustion dans des moteurs pour l'aéronautique, l'automobile, les véhicules industriels,… * l'acoustique dans les avions et le transport terrestre, * …	- **Amélioration du coût et des performances des lanceurs spatiaux**	- Concept moteur - Turbopompes - Chambres de combustion - Maîtrise de la stabilité des propulseurs - Intégration de systèmes (fiabilité des logiciels embarqués) - Matériaux - Procédés - Contrôle - Capteurs et instrumentation - Pyrotechnie	- Maîtrise de l'équilibre gain / complexité - Maîtrise des transferts thermiques - Maîtrise de la combustion pour de gros injecteurs - Optimisation des tuyères - Modulation de la poussée - Nouveau concept de séparation : réduction des chocs - Oscillations de pression de combustion - Maîtrise et régulation des transitoires	- Aérodynamique - Mécanique - Combustion - Transferts thermiques - Modélisation - Expérimentation - Intégration systèmes - Tribologie - Science des matériaux - …

Biens et services de consommation

103 - Outils de personnalisation de la relation client

La définition du profil des individus découle de la nécessité croissante d'instaurer un véritable management de la relation client. Loin du marketing de conquête, avec un consommateur plus regardant qu'auparavant suite à la multiplication des marques et enseignes, le client devient un capital à valoriser au travers d'actions de fidélisation qui impliquent une connaissance fine des dépenses et besoins des consommateurs. Face à cette nécessité de personnalisation, il s'agit de développer des techniques d'analyse des besoins et du comportement des consommateurs, y compris sur le lieu de vente, pour anticiper leur besoins et être le premier à leur proposer services et produits. D'un point de vue technique, la difficulté réside dans la mise en place de modèles prédictifs et explicatifs du comportement du consommateur, ainsi que de modèles d'analyse de risque, par exemple à travers le data mining (groupe de clients susceptible de passer à la concurrence, programme de fidélisation…). Au-delà de la simple analyse statistique, l'enjeu est de prendre en compte la psychologie du client. Les technologies de tri, de structuration et de synthèse de l'information sont également fortement liées à la problématique de la personnalisation client. Elles font appel à la fois à des sciences mathématiques et statistiques et aux sciences comportementales, à travers l'analyse sémantique, la reconnaissance des formes ou la reconnaissance vocale. Il s'agit de maîtriser les bases de données par une portabilité des applications, une très grande rapidité de traitement et donc des débits suffisants.

Le développement des TIC offre un champ encore nouveau, pour beaucoup d'entreprises (en particulier celles qui n'avaient pas encore accès au client final), pour mettre en place une relation personnalisée avec leurs clients. Le succès de cette démarche dépendra en grande partie des conditions de respect de la vie privée des individus.

Liens (autres que les mentions en italiques de la grille ci-dessous) : méthodes de marketing liées à l'utilisation des TIC, design sensoriel, systèmes d'organisation et gestion industrielle améliorés, représentation de la perception du consommateur, représentation et gestion des processus de l'usine numérique, supply chain management.

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne		faible	inexistante
Europe	forte	moyenne		faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Commerce et grande distribution - Commerce électronique - Assurance, banque...	- Configuration d'un tableau de bord produit en fonction des souhaits du client - Vente par Internet - Constitution de bases de données marketing : fidélisation - Planification industrielle et commerciale - Centres d'appels - *Offre de produits et de services de grande consommation à base de réalité virtuelle*	**Personnalisation de la relation client** - Spécification des process de production - Optimisation des offres de produits et de services	- Biométrie et portefeuille électronique - *Techno. logicielles pour la gestion des données et du contenu* (tri, analyse et synthèse des données ; bases de connaissances ; agents ; profil d'utilisateur ; data mining…) - Procédés d'identification : vocale, visuelle…	- Techniques d'analyse statistique - Tri, analyse et synthèse des besoins, du comportement et des habitudes de consommation - Divers points critiques relevant, directement ou indirectement, de l'*intermédiation et de l'intégration de services pour l'Internet du futur* **Autres points critiques** - Psychologie du consommateur - Ethique	- Sciences comportementales (ethnologie, sociologie, psychologie…) - Statistiques - Mathématiques - Reconnaissance des formes - Informatique logicielle

104 - Agents intelligents

Les agents intelligents sont des systèmes capables de recevoir, de traiter de l'information et de communiquer avec d'autres organes du système dans lequel ils sont intégrés. Ils sont des assistants automatiques utilisés par exemple dans la recherche documentaire, la veille technologique ou la programmation d'appareils ménagers. Ils peuvent servir « d'alerte » pour des programmes informatiques, des marchés financiers ou des équipements industriels. Ces opérations sont possibles grâce à l'intégration d'un système de conditionnement du signal, d'un organe de calcul interne et d'une interface de communication avec d'autres éléments. Les agents intelligents sont implicitement utilisés dans certains secteurs industriels ou de services (comme Internet), mais certaines applications en particulier domestiques (mise en réseau des articles ménagers de la maison) restent fortement liées à l'acceptation des consommateurs quant à leur utilisation. Une des conditions de succès est la simplicité d'utilisation par l'usager mais l'enjeu majeur reste la mise en place de normes. Dans le domaine des agents intelligents, l'Europe et la France semblent en retard par rapport aux Etats-Unis.

Liens : capteurs intelligents ; outils de santé à la disposition des consommateurs ; méthodes de marketing liées à l'utilisation des TIC ; objets communicants autonomes ; assistants digitaux portables ; véhicules intelligents et communicants ; moteurs de recherche et d'indexation intelligents ; réseau domestique numérique ; système d'organisation et gestion industrielle améliorés ; génie logiciel et modèles de composants logiciels

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible		inexistante
Europe	forte	moyenne	faible		inexistante

Exemple de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- La consommation de services et la production de biens industriels - Logiciels en informatique de gestion, scientifiques et techniques - Logiciels embarqués dans des équipements	- Réception en ligne d'information sur des équipements connectés - Logiciels embarqués sur des équipements - Analyse de situation et déclenchement d'alerte (finance, surveillance des équipements industriels et domestiques)	- Aide à la décision voire prise de décision - Recherche de l'information	- **Les agents intelligents**	- Leur portabilité et leur connexion sur les plates-formes - Le temps d'apprentissage et de réponses - Les capteurs intelligents **Autres points critiques** - La normalisation - Ethique - Sécurité	- Informatique

105 - Offre de produits et de services de grande consommation à base de réalité virtuelle

En combinaison avec des capteurs qui détectant les mouvements et des appareils restituant les sensations tactiles, les programmes informatiques peuvent générer des images et des réactions qui donnent l'impression d'être dans une autre réalité : la réalité virtuelle. Cela permet donc une interaction entre le consommateur et le produit, ainsi que le développement de très nombreux nouveaux produits : jeux 3D, tourisme virtuel, simulation, confection sur mesure, mannequin virtuel… Dans ce domaine de la réalité virtuelle, le partenariat entre les constructeurs et les SSII (jusqu'à une intégration complète des équipes) est un point clé. La mise au point de systèmes de visualisation non contraignants est également un facteur de succès important (lunettes 3D). La France semble bien positionnée dans ce domaine à travers le jeu et la technologie de l'image.

Liens (autres que les mentions en italiques de la grille ci-dessous) : méthodes de marketing liées à l'utilisation des TIC.

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	**croissance**	maturité	
Applications industrielles et commerciales	naissance	**diffusion**	généralisation	

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	**moyenne**	faible	inexistante	
Europe	forte	**moyenne**	faible	inexistante	

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	**moyenne**	faible	inexistante	
Europe	forte	**moyenne**	faible	inexistante	

Exemple de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Architecture, habitat - Commerce - Médias - Grand public - Formation professionnelle, éducation	- Nouveaux produits de consommation - Cinéma - Tourisme - Notice SAV - Jeux vidéos - Outils de formation et d'apprentissage	**Offre de produits et de services de grande consommation à base de réalité virtuelle**	- Traitement 2D et 3D (mouvement, son , vidéo) - Equipement de restitution (retour de force) - Stimuli artificiels - *Techno. Logicielles pour les systèmes temps réel ou contraint* - *Techno. Logicielles de la langue et de la parole* - *Techno. Logicielles de réalité virtuelle* - *Capteurs de vision / capteurs d'image* - *Transmission temps réel de contenus multimédia* - *Systèmes auteurs pour la création de contenu multimédia* - *Capteurs intelligents* - *Réalité virtuelle augmentée* - *Ergonomie de l'interface homme-machine* - *Outils de personnalisation de la relation client* - *Design sensoriel*	- Compression - Synthèse vocale - Divers autres points critiques relevant des technologies citées ci-contre et évoquées par ailleurs - Divers points critiques relevant, directement ou indirectement, de l'*intermédiation et de l'intégration de services pour l'Internet du futur*	- Neuropsychologie sensorielle et motrice - Informatique logicielle - Divers autres domaines relevant des technologies citées ci-contre et évoquées par ailleurs

106 Outils de santé à la disposition des consommateurs

Les TIC vont avoir un impact important dans le domaine médical et en particulier dans la relation patient / médecin. Au-delà de la simple surveillance audiovisuelle, de nombreux procédés (basés notamment sur des capteurs intégrés) permettront, au domicile du patient, de recueillir des données sur son état pulmonaire (par sonde ou infrarouge), sa circulation sanguine (palpation), sa peau (par vidéo ou laser)… Ces données seront transmises en ligne au médecin de famille ou à l'hôpital et seront traités par l'ordinateur du médecin qui préviendra en cas de dysfonctionnement. Le marché semble très important, notamment au vu du vieillissement de la population. Ces nouvelles opportunités de diagnostic à distance devront converger avec le développement des réseaux médicaux, qui deviennent de plus en plus sophistiqués et incluent des données partagées entre hôpitaux et médecins. Deux enjeux peuvent être soulignés : l'homologation des produits et leur remboursement.

Liens : cf. les mentions en italiques de la grille ci-dessous.

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemple de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Santé - Sports	**Outils de santé à la disposition des consommateurs**	- Conseil de santé - Liaison médecin / patient - Surveillance, suivi à domicile	- *Techno. logicielles de l'informatique distribuée* - *Techno. logicielles de la langue et de la parole* - *Techno. logicielles pour le transport de données* - *Techno. logicielles pour la sécurité des réseaux* - *Techno. logicielles pour la gestion des données et du contenu* (tri, analyse et synthèse des données ; bases de connaissances ; agents ; profil d'utilisateur…) - *Capteurs de vision / capteurs d'image* - *Systèmes auteurs pour la création de contenu multimédia* - *Réseau domestique numérique* - *Transmission temps réel de contenus multimédia* - *Capteurs intelligents* - *Imagerie médicale* - *Intermédiation et intégration de services pour l'Internet du futur* - *Ergonomie de l'interface homme-machine*	- Fiabilité des diagnostics - Impétance métrique dans le corps humain - Divers autres points critiques relevant des technologies citées ci-contre et évoquées par ailleurs **Autres points critiques** - Normes / éthique - Acceptabilité sociale - Développement des réseaux médicaux	- Médecine - Pharmacie - Informatique logicielle - Divers autres domaines relevant des technologies citées ci-contre et évoquées par ailleurs

107 – Design sensoriel y compris la métrologie sensorielle

La métrologie sensorielle permet d'évaluer la perception subjective de l'utilisateur face à un produit et de mesurer cette perception à travers ses 5 sens (odorat, goût, vue, ouïe et toucher) : c'est l'examen des propriétés organoleptiques d'un produit par les organes et les sens (le claquement d'une portière, le goût d'un rouge à lèvre, le toucher d'une poignée de porte…). Il s'agit ensuite de corréler ces sensations avec des propriétés physiques mesurables sur le produit fini, en cours de fabrication ou à la conception. Cela permet, dès la conception, d'adapter les caractéristiques sensorielles des produits aux goûts des consommateurs et de contrôler la qualité des produits fabriqués. Cela a un impact non négligeable sur le choix des matériaux utilisés dans la fabrication des produits (peintures, électroménager, informatique, cosmétique…). Le design sensoriel fait appel à des méthodes statistiques multidimensionnelles (profil sensoriel, profil idéal, cartographie des préférences), à des capteurs, à des systèmes experts et à des bases de données, ainsi qu'à l'analyse comportementale. En France, l'utilisation de ces technologies reste limitée aux grands groupes industriels. Des structures de diffusion devraient être soutenues pour les rendre accessibles aux PME.

- ***Liens (autres que les mentions en italiques de la grille ci-dessous) : ergonomie de l'interface homme-machine, outils de personnalisation de la relation client, représentation de la perception du consommateur, simulation/modélisation du comportement humain, prototypage rapide.***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Tourisme - Biens de consommation	- Conception et aménagement des lieux de vente - « Bornes de démonstration » - Analyse des attentes des consommateurs - *Offre de produits et de services de grande consommation à base de réalité virtuelle*	Fabrication et mesure des sensations (formes, odeurs, goût...)	**Design sensoriel y compris la métrologie sensorielle**	- Capteurs, dont *capteurs intelligents* - Nez électronique - Bases de données sensorielles - *Techno. logicielles pour la gestion des données et du contenu* **Autres points critiques** - La sémiologie	- Neurophysiologie sensorielle - Informatique logicielle - Biochimie - Biophysique

108 - Méthodes de marketing liées à l'utilisation des TIC

En lien étroit avec le développement d'Internet, les TIC permettent d'offrir de nouveaux produits et services au consommateur, en favorisant la personnalisation de la relation client-fournisseur. L'enjeu des TIC est de dépasser l'accès à Internet à travers un ordinateur pour développer une offre de produits et de services à travers les objets nomades (téléphones portables, voitures…), qui permettront d'avoir accès à cette offre à tout instant. L'utilisation des TIC fait appel à des techniques de marketing spécifiques, dont les enjeux principaux sont la visibilité de l'offre proposée à travers des logiques de référencement (sites portails, communautés virtuelles…), l'interaction avec le client et donc la personnalisation de l'offre et la fixation des prix. Ainsi, certaines entreprises ont transformé leur « business model » en faisant évoluer leur cœur de métier grâce aux TIC. Le développement des techniques de marketing se fera en parallèle avec le développement du commerce en ligne, qui reste aujourd'hui encore freiné par des problématiques telles que le coût et le confort d'accès aux réseaux, le développement d'interfaces simples pour l'utilisateur et les problématiques du paiement (micro-paiement) et de la sécurité de l'information. L'enjeu est caractérisé par le développement du nombre d'internautes : de 15 millions aujourd'hui en France , il devrait passer à plus de 40 millions dans moins de 6 ans. La France et l'Europe en général sont en retard par rapport aux Etats-Unis, même si un rattrapage progressif est en cours.

Liens (autres que les mentions en italiques de la grille ci-dessous) : outils de personnalisation de la relation client, offre de produits et de services de grande consommation à base de réalité virtuelle, systèmes d'organisation et gestion industrielles améliorés.

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence		croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance		diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteur d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Biens de consommation - Distribution	- Visibilité - Vente - Attractivité - Fidélisation - Test marketing - Comparaison produit	- Segmentation des consommateurs et des prospects - Elaboration des offres personnalisées - Nouveaux « business models »	**Méthodes de marketing liées à l'utilisation des NTIC**	- *Infrastructures pour réseaux dorsaux haut débit* (qualité de service…) - *Techno. logicielles de l'informatique distribuée* - *Techno. logicielles de la langue et de la parole* - *Techno. logicielles pour le transport de données (*compression…) - *Techno. logicielles pour la sécurité des réseaux* (paiement électronique, micro-paiement…) - *Techno. logicielles pour la gestion des données et du contenu* (agents…) - *Intermédiation et intégration de services pour l'Internet du futur* (et techno. requises) - *Réalité virtuelle augmentée* **Autres points critiques** - Coût - Marketing du virtuel et marketing instantané - Méthodes de fixation des prix - Réglementation inter-nationale sur les taxes	- Sociologie - Economie - Informatique logicielle

Technologie et Méthodes de Conception – Gestion - Production

109 - Systèmes d'organisation et gestion industrielle améliorés

Le progrès continu comme le re-engineering des processus sont au service de la performance industrielle (réduction des coûts, amélioration des délais et de la qualité) et de l'amélioration des conditions de développement d'offres nouvelles. Les gains attendus d'innovations pour définir et mettre en œuvre de meilleurs modes d'organisation dans les opérations comme en développement sont considérables.

Ces améliorations passent notamment par :

- L'analyse des coûts : développement de méthodes de moins en moins analytiques et de plus en plus synthétiques
- Des changements de production plus rapides et moins coûteux
- Des indicateurs de performance plus pertinents et aisés à mettre en œuvre

Par ailleurs, il s'agit d'améliorer le 'Time to market', c'est-à-dire d'accélérer les processus de développement de produits nouveaux (ingénierie simultanée, intégration des outils de simulation, outils de gestion de projet, architecture modulaire…)

La principale difficulté consiste à trouver les moyens de faire évoluer les organisations.

Liens (autres que les mentions en italiques de la grille ci-dessous) : méthodes de marketing liées à l'utilisation des TIC, outils de personnalisation de la relation client, outils d'aide à la créativité, représentation et gestion des processus de l'usine numérique, supply chain management, soutien logistique intégré.

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteurs d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
Tous secteurs d'activité	- Gestion de projets (projet véhicule, projet train…) - Développement de produits - Gestion de la chaîne de production et distribution	**Améliorer les systèmes d'organisation et gestion industrielle**	- Méthodes d'analyse des coûts - Indicateurs de performance - Gestion de projet - Ingénierie simultanée - Flexibilisation - Machines agiles - Gestion des flux - *Techno. logicielles de l'informatique distribuée* - *Techno. logicielles pour les systèmes temps réel ou contraint* - *Techno. logicielles pour la gestion des données et du contenu* (tri, analyse et synthèse des données ; bases de connaissances ; agents…) - *Mesure et test de systèmes* - *Ingénierie concourante* - *Formalisation et gestion des règles métier* - *Multi- représentation des objets virtuels / qualité de la représentation* - *Prototypage rapide*	- Intégration de systèmes hétérogènes - Intégration et consolidation des coûts - Echanges de données techniques (systèmes d'information) - Intégration des règles métier ou règles métier croisées - Divers autres points critiques relevant des technologies citées ci-contre et évoquées par ailleurs	- Informatique logicielle - Techniques de gestion - Sociologie des organisations - Gestion de l'Innovation - Optimisation - Automatique

110 - Formalisation et gestion des règles métier

La gestion des connaissances est un objectif stratégique pour les entreprises, car ce sont de plus en plus leurs compétences propres, ou leur capacité à accéder aux compétences extérieures, qui leur sont nécessaires et qui font la différence par rapport à la concurrence. Elle prend plusieurs formes : protection de la propriété industrielle et intellectuelle, intelligence économique (veille), capitalisation de savoir-faire sont autant de sujets d'études importants.
Dans ce cadre, la formalisation et la gestion des règles métier englobe notamment les problématiques de normalisation, de réglementation dans les méthodes de conception, d'expertise en choix de technologies (et matériaux) au stade de la conception, de connaissance des contraintes liées à l'environnement, de compétences.
La définition du format et des supports utilisés pour la gestion des règles métier, la mise à jour (dont l'intégration du retour d'expérience) et la recombinaison de ces règles entre elles sont les enjeux majeurs de cette technologie et présentent une complexité certaine, souvent non encore formalisée dans les entreprises. Ce qui explique la contradiction apparente entre les degrés de développement indiqués pour la technologie et ses applications industrielles et commerciales.

Liens (autres que les mentions en italiques de la grille ci-dessous) : génie logiciel .

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteurs d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
Tous secteurs	- Meilleure utilisation du capital intellectuel des entreprises - (Bureaux d'étude, laboratoires de développement, maintenance…) - Signalisation - Sécurité des systèmes - Sûreté de fonctionnement - *Ingénierie concourante* - *Systèmes d'organisation et gestion industrielle améliorés* - *Simulation numérique des procédés* - *Surveillance intelligente de l'élaboration et de la mise en oeuvre des matériaux*	- Gestion stratégique des technologies et connaissances, mémorisation de l'acquis - Maîtrise de la qualité - Adaptation des logiciels généraux à l'usage des PME - Conception des pièces et outillages - Intégration des métiers	**Formalisation et gestion des règles métier**	- Formaliser les spécialités de l'entreprise - Intégrer des aspects réglementaires, des règles de fabrication, des méthodes de choix d'assemblage, de matériaux ou de composants dans les logiciels de conception - Règles croisées - Formalisation de règles - Re-conceptualisation - Capacité à utiliser les outils multimedia - Capacité à accéder à l'information - *Techno. logicielles pour la gestion des données et du contenu* (bases de connaissances…) - ***Modélisation complète de la transformation des matériaux et intégration dans des bases de données***	- Informatique logicielle - Modélisation des processus

111 - Outils d'aide à la créativité

La créativité recouvre l'activité d'invention et de génération d'idées (dont certaines déboucheront sur des innovations). L'innovation, qui constitue un élément clé du succès des entreprises, passe inévitablement par une étape de créativité.

Ce sont les outils d'aide à la créativité qu'il faut aujourd'hui développer. Ces outils peuvent reposer sur des supports existants : logiciels, bases de données, moteurs de recherche, intelligence artificielle, réseaux neuronaux, logique floue, analyse de valeur, Quality Function Development (QFD) etc. Il reste à inventer des façons de re-combiner les multiples sources d'information et les différents ingrédients élémentaires disponibles pour effectivement développer des outils qui stimulent la créativité des individus, des groupes et des organisations.

- ***Liens (autres que les mentions en italiques de la grille ci-dessous) :***
- ***systèmes d'organisation et gestion industrielle améliorés***
- ***multi-représentation des objets virtuels / qualité de la représentation***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteurs d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
Tous secteurs	- Innovations (produits, services, process, organisation…) - Transferts de technologie - Création de produits	- Amélioration de la capacité à créer d'un individu ou d'un groupe - Faire sortir les groupes de leur cadre de référence	**Outils d'aide à la créativité**	- Analyse du comportement créatif (cf. TRIZ) - Expression fonctionnelle du besoin - Systèmes logiciels d'aide - *Techno. logicielles pour la gestion des données et du contenu* (tri, analyse et synthèse des données ; bases de connaissances ; agents ; profil d'utilisateur ; data mining…) - *Représentation de la perception du consommateur* - *Simulation, modélisation du comportement humain*	- Neuropsychologie - Sociologie des groupes - Psychologie - Informatique logicielle - Intelligence artificielle - Réseaux de neurones

112 - Représentation de la perception du consommateur

Il s'agit, ici, d'intégrer les spécificités humaines dans le processus de conception et de développement d'un produit et/ou d'un service. Les entreprises déploient des efforts conséquents pour mieux cerner la nature des attentes du consommateur et, pour ce faire, ont besoin d'outils et de méthodes.
Cette technologie fait partie d'un ensemble vaste de technologies dites d'ingénierie de conception centrée sur l'homme.
Les divers champs se rattachent à deux grandes catégories concernant l'adaptabilité et l'acceptabilité humaines. Eux-mêmes se divisent en domaines dont on peut présenter les enjeux, et les disciplines qui s'y rattachent :

- la conception du sens de l'objet (sociologie/psycho/design)
- la génétique de l'objet en conception (psycho/design)
- la conception des aspects perçus du produit (design, ergonomie et métrologie sensorielle)
- la conception de la signification de l'usage (sémiotique de la conception)
- la psychométrie (mesures physiques corrélées à la perception humaine)
- la micropsychologie de conception (design et micropsychologie)…

Liens (autres que les mentions en italiques de la grille ci-dessous) : outils de personnalisation de la relation client, multi-représentation des objets virtuels / qualité de la représentation, représentation et gestion des processus de l'usine numérique, simulation et modélisation du comportement humain, design sensoriel

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteurs d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
Secteurs d'application correspondants aux produits grand public	- Prédire l'acceptation du produit par le consommateur - Maîtriser les aspects perçus (Toucher, vue, sonorités, odeurs, accélérations…), par exemple : contact de la main sur le volant, maîtrise du bruit émis par le claquement de la portière… - *Outils d'aide à la créativité*	**Représentation de la perception du consommateur**	- Logique floue - Corrélation perception / mesure - Diagnostic - Métrologie sensorielle - Métrologie humaine - Kinésigraphique - Anthropométrie - *Techno. logicielles pour la gestion des données et du contenu* (tri, analyse et synthèse des données ; bases de connaissances ; profil d'utilisateur…) - *Techno. logicielles de réalité virtuelle* - *Réalité virtuelle augmentée*	- Analyse du comportement - Variabilité interindividuelle et sa mesure - Indexicalité - Conception de produit - Divers autres points critiques relevant des technologies citées ci-contre et évoquées par ailleurs	- Sciences humaines: ergonomie cognitive, ethnologie et anthropologie, sociologie, psychologie - Chimie des matériaux - Acoustique - Informatique logicielle

113 - Simulation, modélisation du comportement humain (dans le poste de travail, face au produit…)

L'automatisation de nombreux processus et le développement des intelligences artificielles conduisent à intégrer l'activité humaine dans des environnements chaque jour plus sophistiqués. Ces environnements doivent être aptes à prendre en compte les aléas propres à l'humain. Ceci s'impose aussi bien dans les systèmes de production que dans des contextes d'utilisation d'un produit. Une importante facette ergonomique (la validation des postes de travail par exemple) est ici en cause.
L'ergonomie doit s'apprécier dans une diversité culturelle : comment imaginer une « machine universelle » compte tenu des différences culturelles ou anthropométriques ? Les cadres réglementaires à respecter (droit du travail) diffèrent, tout comme la notion de pénibilité (par exemple dans le BTP).
La gestion de la complexité des systèmes mis en face de l'homme constitue un enjeu majeur pour cette technologie dont les applications industrielles et commerciales sont en fait d'ores et déjà reconnues et généralisées.

Liens (autres que les mentions en italiques de la grille ci-dessous) : design sensoriel, représentation de la perception du consommateur, multi-représentation des objets virtuels / qualité de la représentation.

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteurs d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
Tous secteurs	- Eviter ou gérer les situations à risques - Anticiper l'utilisation non conforme d'un produit - *Véhicules intelligents et communiquants* - *Ergonomie de l'interface homme-machine* - *Représentation et gestion des processus de l'usine numérique* - *Outils d'aide à la créativité* - *Simulation numérique des procédés*	**Simulation, modélisation du comportement humain (dans le poste de travail, face au produit…)**	- Informatique appliquée à des situations floues et incertaines - Modélisation floue - *Techno. logicielles pour la gestion des données et du contenu* (bases de connaissances ; profil d'utilisateur…) - *Techno. logicielles de réalité virtuelle* - *Réalité virtuelle augmentée*	- Modélisation et simulation de la charge d'activité physique (pénibilité) et cognitive (complexité) et des agressions de l'environnement (bruits polluants, etc.) - Divers autres points critiques relevant des technologies citées ci-contre et évoquées par ailleurs	- Psychologie, sociologie, physiologie - Ergonomie - Cognition - Informatique logicielle - Réseaux de neurones

114 - Multi-représentation des objets virtuels / qualité de la représentation

La multi-représentation englobe diverses notions.
- La représentation du même objet de différentes manières : dans le processus de conception de produits, il existe une chronologie d'actions qui garantit la matérialisation d'une idée en objet industriel reproductible. Les plateaux projets ont généré des difficultés spécifiques en termes de compréhension des points de vue différents. Chaque acteur possède ses propres représentations (designer, ergonome, marketer, technologue…). L'enjeu est donc de rendre appropriable à leurs utilisateurs ces différents modes de représentation.
- Un produit a diverses représentations tout au long de son cycle de vie, du berceau à la tombe.
- L'anticipation de l'usage du produit par l'utilisateur final est un dernier objectif de cette technologie.

Les enjeux d'interconnection de représentations destinées à des utilisateurs très différents sont donc très importants, et reposent notamment sur l'intégration de données hétérogènes.

Liens (autres que les mentions en italiques de la grille ci-dessous) : ingénierie concourante, outils d'aide à la créativité, simulation/modélisation du comportement humain, représentation de la perception du consommateur, prototypage rapide.

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteurs d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
Tous secteurs , dont notamment les industries manufacturières	- Apprentissage - Simulation - *Ingénierie concourante,* plateaux projets - *Systèmes d'organisation et gestion industrielle améliorés* - *Représentation et gestion des processus de l'usine numérique*	**Multi-représentation des objets virtuels / qualité de la représentation**	- Idéalisation - Modélisation de produit - Genèse de conception - Capitalisation des connaissances - *Techno. logicielles pour la gestion des données et du contenu* (bases de connaissances…)	- Intégration de données hétérogènes - Indicateurs de qualité d'une représentation - Transfert de représentation - Représentation des connaissances - Systèmes multiacteurs – multimétiers	- Systémique - Systèmes distribués - Ethnologie, psychologie - Génie industriel - Informatique logicielle

115 - Simulation numérique des procédés

Il s'agit de simuler les procédés de fabrication, qu'ils soient continus ou discontinus. Ces simulations concernent les situations de fonctionnement nominal aussi bien que les dysfonctionnements. Cette technologie se heurte à des problèmes d'intégration des logiciels et de leur utilisation, d'interopérabilité des différents systèmes/modèles entre eux, de réduction des temps de développement et de mise au point, de coût et d'optimisation de calcul (les routines et les logiciels d'optimisation n'existent pas toujours aujourd'hui).

Liens :

- *Techno. logicielles pour les systèmes temps réel ou contraint*
- *Techno. logicielles pour la gestion des données et du contenu* (data mining…)
- *Techno. logicielles de réalité virtuelle*
- *Réalité virtuelle augmentée*
- *Capteurs intelligents*
- *Simulation / modélisation du comportement humain*
- ***Modélisation complète de la transformation des matériaux et intégration dans des bases de données***
- *Formalisation et gestion des règles métier*

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteurs d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Tous les secteurs manufacturiers - Transports : véhicules et infrastructures - Réseaux de communication	- Forge, emboutissage, fonderie, plasturgie - Gestion d'embouteillages et files d'attente - Gestion de flottes - Gestion des risques de tous types - *Représentation et gestion des processus de l'usine numérique* - *Surveillance intelligente de l'élaboration et de la mise en œuvre des matériaux*	- Réduire les temps/coûts de mise au point - *Prototypage rapide* - Réduction des risques de défaillances - Formation à l'exploitation d'équipements par simulation - Maîtrise des procédés et de la qualité - Conception du procédé au service du 'Time to market' - Dimensionnement (économique et procédés industriels) - Conception à partir d'une approche numérique, sans réalisation physique - Analyse des conséquences des variations	**Simulation numérique des procédés**	- Puissance de calcul - CEM simulée - Simulation de process - *Techno. logicielles pour les systèmes temps réel ou contraint* - *Techno. logicielles pour la gestion des données et du contenu* (data mining…) - *Techno. logicielles de réalité virtuelle* - *Réalité virtuelle augmentée* - *Capteurs intelligents* - *Simulation / modélisation du comportement humain* - ***Modélisation complète de la transformation des matériaux et intégration dans des bases de données*** - *Formalisation et gestion des règles métier* - Divers autres points critiques relevant des technologies citées ci-dessus et évoquées par ailleurs	- Physique, chimie - Génie Electrique - Génie mécanique - Informatique logicielle - Calcul scientifique - Analyse numérique - Modèles mathématiques de simulation et modélisation - Lois de comportement des matériaux (mécanique) - Réseaux de neurones, logique floue - Analyse systémique

116 - Représentation et gestion des processus de l'usine numérique

L'automatisation des processus des usines passe par le développement d'outils de gestion et de supervision capables de surveiller un procédé de fabrication quelconque en visualisant pour un opérateur le déroulement des opérations et en l'informant d'éventuels dysfonctionnements. Mais, au-delà de la surveillance de la fabrication, ces outils doivent également permettre l'analyse et la gestion prévisionnelle de processus (planning de production par exemple). Le pré-requis est donc la mise à plat et la compréhension de différents processus. Il s'agit ensuite, pour chaque processus, de déterminer les données qui permettront de le contrôler et de l'intégrer dans des systèmes capables de l'analyser et d'en transmettre le sens aux opérateurs, voire aux machines elles-mêmes, pour prise de décision et action. L'interfaçage entre systèmes informatiques est donc un enjeu important. La description des processus doit également prendre en compte les interfaces entre l'humain et les systèmes : l'ergonomie des interfaces entre ces représentations et l'homme est donc un autre enjeu non négligeable : les écrans de visualisation, les alertes sonores, etc. sont des éléments d'efficacité dans la gestion des situations (simplicité de compréhension, rapidité d'accès…).

Liens :

- *outils de personnalisation de la relation clien,*
- *systèmes d'organisation et gestion industrielle améliorés,*
- *représentation de la perception du consommateur,*
- *prototypage rapide,*
- *supply chain management,*
- *Techno. logicielles de l'informatique distribuée*
- *Techno. logicielles pour les systèmes temps réel ou contraint*
- *Techno. logicielles pour la gestion des données et du contenu (tri, analyse et synthèse des données ; bases de connaissances ; agents ; profil d'utilisateur ; data mining…)*
- *Techno. logicielles de réalité virtuelle*
- *Mesure et test de systèmes*
- *Capteurs intelligents*
- *Ingénierie concourante*
- *Réalité virtuelle augmentée pour la conception architecturale et technique*
- *Sûreté des systèmes (embarqués et infrastructures)*
- *Ergonomie de l'interface homme-machine*
- *Simulation, modélisation du comportement humain*
- *Simulation numérique des procédés*
- *Multi-représentation des objets virtuels / qualité de la représentation*

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteurs d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
Tous secteurs manufacturiers, dont : - Biens d'équipement - Automobile - Electronique	- Organisation industrielle - Maquette de travail – prototype - Relations fournisseurs - Télé-surveillance - Production autonome	**Représentation et gestion des processus de l'usine numérique**	- Logiciels de simulation - Capitalisation - Manuel conventionnel - Numérique - CAO - Machines intelligentes - *Techno. logicielles de l'informatique distribuée* - *Techno. logicielles pour les systèmes temps réel ou contraint* - *Techno. logicielles pour la gestion des données et du contenu* (tri, analyse et synthèse des données ; bases de connaissances ; agents ; profil d'utilisateur ; data mining…) - *Techno. logicielles de réalité virtuelle* - *Mesure et test de systèmes* - *Capteurs intelligents* - *Ingénierie concourante* - *Réalité virtuelle augmentée pour la conception architecturale et technique* - *Sûreté des systèmes (embarqués et infrastructures)* - *Ergonomie de l'interface homme-machine* - *Simulation, modélisation du comportement humain* - *Simulation numérique des procédés* - *Multi-représentation des objets virtuels / qualité de la représentation*	- 2D/3D - Maquette numérique - Interfaçage de systèmes - Utilisation de données CAO hétérogènes - Réversibilité - Techniques STEP - Méthodes de diagnostic - Echanges de données techniques/SGDT - Divers autres points critiques relevant des technologies citées ci-contre et évoquées par ailleurs	- Mécanique - Electronique - Chimie des matériaux - Génie électrique - Informatique logicielle - Modélisation des processus

117 - Prototypage rapide

Le prototypage rapide permet de réaliser automatiquement et très rapidement des pièces « prototypes », dont la géométrie et les dimensions sont très proches de celles qu'aura le produit final. Il utilise des logiciels de design industriel commandant des dispositifs de formage de la matière et faisant appel à diverses technologies (avec laser : fabrication par découpe et laminage, stéréolithographie, frittage ; sans laser : dépôt de fil fondu, flashage couche par couche, projection de colle, de cire ou de plastique). Son application à la fabrication permet la réduction des séries et la recherche de flexibilité en supprimant des étapes de réalisation des produits. Le développement des possibilités de numérisation des formes ouvre de nouvelles perspectives de marché à cette technologie, dont la conception d'outillages et outils spécifiques adaptés aux nouvelles technologies (notamment le numérique).
Les enjeux du prototypage sont multiples : en premier lieu intégrer le numérique dans les processus, mais également maîtriser la précision, la porosité et l'état de surface des pièces obtenues.

Liens :

- ***fabrication en petites séries à partir de modèles numériques,***
- ***ingénierie concourante,***
- ***design sensoriel,***
- ***multi-représentation des objets virtuels / qualité de la représentation,***
- ***représentation et gestion des processus de l'usine numérique.***
- *Techno. logicielles pour la gestion des données et du contenu* (reconnaissance des formes…)
- *Techno. logicielles de réalité virtuelle* (numérisation de formes…)
- *Réalité virtuelle augmentée pour la conception architecturale et technique*

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteurs d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
Industrie manufacturière, dont : - Fonderie (cire perdue ou sable) - Plasturgie - Mécanique de petite série - Industrie automobile - Industrie aéronautique - Appareillage médical	- Maquettes, prototypes, moules - Pré-séries - Maîtres modèles - Outillages - Pièces mécaniques spéciales - Fabrication à partir de modèles numériques de pièces métalliques industrielles en petites séries - Démarrage et fin de la fabrication - Validation de process - Contrôle et (re)construction - *Systèmes d'organisation et gestion industrielle améliorés*	- **Prototypage rapide**	- *Techno. logicielles pour la gestion des données et du contenu* (reconnaissance des formes…) - *Techno. logicielles de réalité virtuelle* (numérisation de formes…) - *Réalité virtuelle augmentée pour la conception architecturale et technique*	- Caractérisation et maîtrise des états de surface - Matériaux utilisés (résines, pâtes) - Machines pour mettre en œuvre les matériaux - Problèmes des pièces de grande dimension - Précision dimensionnelle - Divers autres points critiques relevant des technologies citées ci-dessus et évoquées par ailleurs	- Chimie, métallurgie - Optique laser - Thermodynamique - Diagramme de phases - Mathématiques - Informatique logicielle

118 - Supply Chain Management

Le Supply Chain management correspond à l'activité de gestion de la chaîne de satisfaction de la commande du client, depuis les approvisionnements en amont des usines jusqu'à la distribution.
Prenant de l'importance à la suite des méthodes et outils de planification développés dans les 20 dernières années (MRP et ERP), il implique que chaque entreprise et ses partenaires (amont et aval) travaillent et revoient leurs systèmes de gestion et leurs organisations pour les coordonner. C'est l'idée « d'entreprise étendue ». Les outils de « Supply Chain Management » visent à optimiser le flux de matières/produits, de services et d'information le long de la chaîne économique.
Les bénéfices attendus sont nombreux, comme par exemple la réduction des coûts et des stocks, une meilleure utilisation des actifs des entreprises et la recherche d'une plus grande satisfaction des clients.
Les enjeux du Supply Chain Management sont une remise à plat des différents processus intra et inter entreprises. Les conséquences organisationnelles peuvent être considérables.

- ***Liens (autres que les mentions en italiques de la grille ci-dessous) : soutien logistique intégré.***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT

Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteurs d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
Tous secteurs	- Planification de la demande - Planification et optimisation à capacités finies (matières, logistique, machines, …) - Calcul du disponible à la vente - Achats électroniques (OBI : Open Buying on Internet) - Stocks directement gérés par les fournisseurs (VMI : Vendor Managed Inventory) - Collaboration inter-entreprises - Places de marché électroniques	**Supply Chain management** - Optimiser le flux des matières le long de la chaîne logistique (étendue aux partenaires) - Maîtriser un processus de fabrication permettant de personnaliser les produits finaux - Segmenter les clients suivant le niveau de service attendu	- Algorithmes d'optimisation et de planification - Collaboration sur Internet (exemple : estimation de la demande) - Systèmes décisionnels - Outils de simulation et de modélisation - Cockpits pour le suivi de l'exécution - *Techno. logicielles de l'informatique distribuée* (interfaçage de systèmes hétérogènes…) - *Techno. logicielles pour le transport de données* - *Techno. logicielles pour la sécurité des réseaux* - *Techno. logicielles pour la gestion des données et du contenu* - *Grands serveurs*	- Normalisation des documents inter-entreprises (EDI, XML…) - Aspect organisationnel - Collaboration étroite de l'entreprise avec ses partenaires commerciaux - Maîtrise d'un réseau complexe - Divers autres points critiques relevant des technologies citées ci-contre et évoquées par ailleurs	- Sociologie des organisations - Informatique logicielle - Gestion

119 - Soutien logistique intégré

Le Soutien Logistique Intégré vise à optimiser le coût global de possession (c'est-à-dire d'acquisition, de maintenance et de mise au rebut en fin de vie). C'est la gestion complète et intégrée du produit et des services associés, depuis la conception jusqu'à la destruction complète ('du berceau à la tombe'). Ce concept intègre, le plus en amont possible, c'est-à-dire dès l'expression du besoin, la composante soutien logistique et les services associés (via des études de sûreté de fonctionnement, l'analyse du soutien logistique, la production des composants). Il s'agit de concevoir et d'élaborer l'offre dans la perspective d'une gestion globale du cycle de vie du produit / service. Diverses expériences ont déjà été menées dans différents domaines comme celui de la défense.

Il s'agit, par exemple, de fournir des heures d'avion plutôt que l'avion lui-même ou encore des séries de pièces produites plutôt que 'seulement' la machine pour les fabriquer,

Enjeux majeurs de ce concept : intégrer les retours d'expérience et faire de la maintenance prédictive.

- ***Liens (autres que les mentions en italiques de la grille ci-dessous) : Supply Chain Management.***

DEGRE DE DEVELOPPEMENT			
Technologie	émergence	croissance	maturité
Applications industrielles et commerciales	naissance	diffusion	généralisation

POSITION SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

POSITION SUR LE PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL				
France	forte	moyenne	faible	inexistante
Europe	forte	moyenne	faible	inexistante

Exemples de secteurs d'application	Exemples d'usage	Fonction remplie	Technologie	Points technologiques critiques	Domaines scientifiques concernés
- Aéronautique - Energie - Transports - Défense - …	Meilleure prise en compte de : - Assistance technique - Installation et mise en service - Documentation - Formation - Pièces de rechange - Outils	**Soutien logistique intégré**	- Etudes marketing - Expression du besoin - Maintenance - Analyse du cycle de vie - *Techno. logicielles de l'informatique distribuée* - *Techno. logicielles pour les systèmes temps réel ou contraint* - *Techno. logicielles pour le transport de données* - *Techno. logicielles pour la sécurité des réseaux* - *Techno. logicielles pour la gestion des données et du contenu* - *Techno. logicielles de réalité virtuelle* - *Mesure et test de systèmes* - *Réalité virtuelle augmentée pour la conception architecturale et technique*	- Maintenance intégrée - Analyse de coût intégrée - Divers autres points critiques relevant des technologies citées ci-contre et évoquées par ailleurs	- Processus stochastique - Optimisation - Informatique logicielle

Conclusions

Recommandations du comité de pilotage

Annexes et bibliographie

Composition du comité de pilotage

Composition des groupes de travail thématiques

Rappel de la liste des technologies clés de l'étude précédente

Thésaurus

Conclusions

A l'issue de ce travail de réflexion prospective sur les technologies clés pour le futur de l'économie française et européenne, il nous faut mettre en exergue les aspects majeurs qui émergent de la démarche d'ensemble.

L'omniprésence des TIC ; l'arrivée toujours annoncée des biotechnologies

Nous n'avons pas cherché à établir de hiérarchie entre les technologies recensées. C'est là le résultat d'un choix délibéré. Nous devons toutefois faire une mention spéciale et contrastée pour les TIC et les biotechnologies.

Les Technologies de l'Information et de la Communication traversent la quasi-totalité des thèmes qui auront été débattus au cours du présent travail. On peut considérer que les différentes technologies identifiées s'approprient les TIC, chacune à sa façon, ou à l'inverse on peut estimer que ce sont en fait les TIC qui colonisent des pans entiers de territoires technologiques traditionnels. Peu importe. Ce qui est significatif, c'est le constat d'omniprésence des TIC, constat massif et indiscutable.

Une part importante des progrès accomplis dans maints secteurs, y compris pour les technologies organisationnelles, résulte en fait des développements rendus possibles par les TIC : la modélisation, la capacité de mesure, le traitement du signal, la constitution et l'exploitation de bases de données, la capacité de calcul, les communications plus rapides, plus denses et moins chères,… Cette évolution n'est pas nouvelle mais elle apparaît ici comme une véritable déferlante qui diffuse dans toutes les directions à une vitesse surprenante.

En contraste, les sciences du vivant qui constituaient une autre vague d'innovations annoncées tardent à se concrétiser. Les constantes de temps sont bien sûr différentes, elles varient fortement d'un domaine à l'autre, mais face aux multiples développements des TIC, les biotechnologies pourraient faire figure de parent pauvre. Pourtant différents signaux laissent penser que la révolution technologique associée aux sciences du vivant a bel et bien démarré et qu'elle va, à sa façon elle aussi, affecter différents secteurs durablement et en profondeur (la pharmacie, l'agriculture ou l'agroalimentaire bien sûr, mais aussi la chimie, les matériaux, l'énergie et même les TIC,…).

Par delà les technologies organisationnelles, le client

Les technologies organisationnelles avaient été clairement mises en évidence par l'exercice précédent comme participant pleinement de la compétitivité des entreprises et de l'économie. En l'absence de terme plus approprié, elles avaient été qualifiées de « molles », ce qui traduisait tout à la fois une difficulté à définir le contour et les contenus correspondants mais aussi une certaine gêne des scientifiques et des technologues à considérer ces champs de la connaissance comme relevant des technologies. Pourtant le pas de leur reconnaissance avait été franchi et l'on ne peut que se féliciter de cet apport du travail conduit il y a 5 ans. Le présent exercice a clairement confirmé cet enjeu. A un moment où la nouvelle économie se construit autour du capital cognitif, les entreprises vont plus encore que par le passé devoir mobiliser de façon coordonnée des compétences et des savoir-faire à travers des processus organisationnels dont on pressent déjà clairement qu'ils seront déterminants.

Toutefois, que l'on ne s'y méprenne pas, les technologies « dures » non seulement continuent à exister (nous les avons rencontrées et espérons en avoir rendu compte ici) mais en plus elles restent évidemment d'actualité. Il ne saurait y avoir le moindre doute là-dessus. En revanche, ce qui avait été souligné il y a 5 ans et ce qui est confirmé ici encore, c'est l'importance des technologies dites molles. En d'autres termes, pour prendre, la « mayonnaise technologique » a besoin d'autre chose que les seuls ingrédients des technologies classiques.

Mais plus encore que cette confirmation de l'importance des technologies organisationnelles, le travail conduit ici aura recommandé de ramener **le client** dans le champ de vision du technologue. La démarche d'investigation adoptée a permis de replacer la technologie au cœur de la dualité « besoin – solution » en systématisant l'interrogation « quel est le besoin à satisfaire, avec quelles fonctionnalités et pour quels usages / quelles voies technologiques peut-on escompter pour satisfaire ce besoin ? ». C'est dans cette tension dialectique entre demande et offre, entre client et fournisseur, entre usage et technologie, entre fonctionnalité à satisfaire et solution technique mobilisable que jaillit la créativité et que survient l'innovation. Il n'y a de sens pour la technologie que dans la satisfaction d'un besoin et d'une demande.

Au delà, le client contribue même à façonner l'application de la technologie et donc l'innovation à travers un processus tout à la fois interactif et itératif entre offre et demande, en quête d'une meilleure compréhension des besoins, pour affiner les spécifications et le cahier des charges des concepteurs et des développeurs.
Ce faisant, le client (qu'il s'agisse du client consommateur final ou du client industriel) aura pris une place méritée dans cet exercice de prospective technologique.

Des « technologies carrefours »

Les technologies recensées ici sont finalement au moins autant des « technologies carrefours » que des « technologies clés ». L'exercice précédent avait plutôt identifié des technologies clés, en ce sens que chacune était incontournable mais d'une certaine façon assez indépendante des autres. Le présent travail aura recensé des technologies certes importantes intrinsèquement mais surtout fortement interdépendantes. La grille de caractérisation des technologies telle que nous l'avons utilisée et les fiches de synthèse que nous avons élaborées soulignent ces liens et cette transversalité. Mais il nous faut souligner également que nous pensons que ce ne sont pas tant les outils utilisés dans la démarche que la réalité même des technologies qui a changé.
Les technologies que nous avons recensées ici sont qualifiées de carrefour en ce sens qu'elles intègrent et combinent de multiples autres technologies et qu'en retour elles irradient et diffusent vers de nombreuses autres en les hybridant à leur tour.
D'une certaine façon, certains pourront voir dans cette évolution un changement de paradigme. Les secteurs d'activité se refondent en mobilisant des recombinaisons nouvelles de technologies, au service d'offres de plus en plus complexes tout en restant cohérentes. Car l'exigence de simplicité d'utilisation des objets et des services s'accompagne en fait d'une sophistication et d'une complexification accrues des systèmes technologiques sous-jacents. En outre, les technologies sont plus facilement accessibles sur le marché mondial et leur dimension empirique est de mieux en mieux comprise et expliquée scientifiquement. Elles peuvent donc être plus facilement hybridées pour générer une plus grande variété d'applications dans d'autres champs, et cela d'autant plus que le contexte concurrentiel pousse à de telles démultiplications. Les systèmes d'innovation de notre pays et de l'Europe se sont ainsi largement ouverts et certaines technologies comme les TIC ont forcé le passage, diffusant dans la quasi-totalité des autres champs de la technique.
Les technologies continuent donc bien à constituer une des clés du développement économique et de la compétitivité, mais au moins autant à travers leurs interdépendances et leur capacité à se re-combiner qu'à travers leurs caractéristiques intrinsèques. Le terme de « technologie carrefour » nous semble bien résumer cette nouvelle donne.

S'extirper des classifications traditionnelles

Une lecture rapide des résultats du présent travail pourrait laisser penser que certains secteurs d'activité ont fait l'objet de bien peu d'attention. Ce pourrait être le cas du pétrole et du gaz, de l'eau ou du nucléaire et probablement de quelques autres secteurs encore. Or il n'en est rien.
Ces secteurs comme d'autres, voire plus que d'autres, n'ont cessé d'innover et continuent à innover. Nous en sommes tellement convaincus que nous soulignons ici qu'il serait non seulement erroné mais aussi dangereux d'ignorer les gisements d'innovation que recèlent ces secteurs clés de notre économie.
Mais si les secteurs ne sont pas toujours apparus en tant que tels dans ce rapport, c'est que l'exercice prospectif nous condamne à sortir des classifications et des nomenclatures traditionnelles. L'enjeu n'était pas de compter quelles technologies clés appartiennent à quels secteurs pour voir si chacun a bien eu son dû. Ce serait là chausser les lunettes du passé, ce à quoi est condamnée toute classification sectorielle qui ne peut être par essence que le reflet de l'industrie d'hier.
La gymnastique à laquelle nous contraint la prospective est certes exigeante mais finalement plus riche. Il s'agit de repérer les technologies porteuses d'avenir, formulées relativement à la diversité des besoins et des fonctionnalités qu'elles peuvent satisfaire, en s'en félicitant lorsque ces technologies traversent différents secteurs, différentes applications, différents usages.

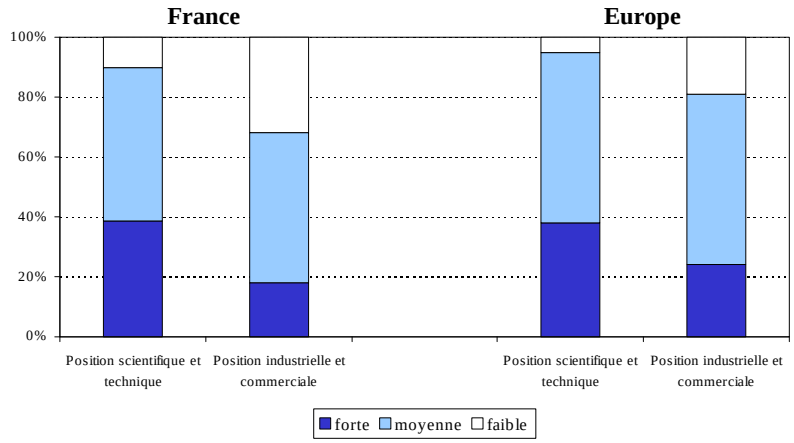
Ainsi le pétrole et le gaz sont-ils directement ou indirectement concernés par exemple par « l'offshore grands fonds », les « micro-turbines » ou « les catalyseurs ». Ainsi le domaine de l'eau, dont certains s'attendent à ce qu'il soit un défi du siècle qui s'annonce, est-il directement ou indirectement concerné par la « filtration membranaire », par « l'élimination des métaux lourds dans les boues et les effluents » ou par les « outils de gestion des risques environnementaux et sanitaires ». Ainsi le nucléaire est-il directement ou indirectement concerné par le « traitement des déchets nucléaires » bien sûr, mais aussi par les « matériaux en conditions extrêmes », par les « technologies de déconstruction » ou par les « techniques de diagnostic et de traitement des sols ».
A chacun, en fonction de ses centres d'intérêt, de procéder à une lecture attentive des technologies recensées ici pour en évaluer l'impact possible dans des champs d'application spécifiques.

La position de la France et de l'Europe

L'analyse de la position de la France et de l'Europe telle qu'elle apparaît au travers des différentes technologies recensées, tant du point de vue scientifique et technique que du point de vue industriel et commercial, est résumée sur les figures ci dessous.

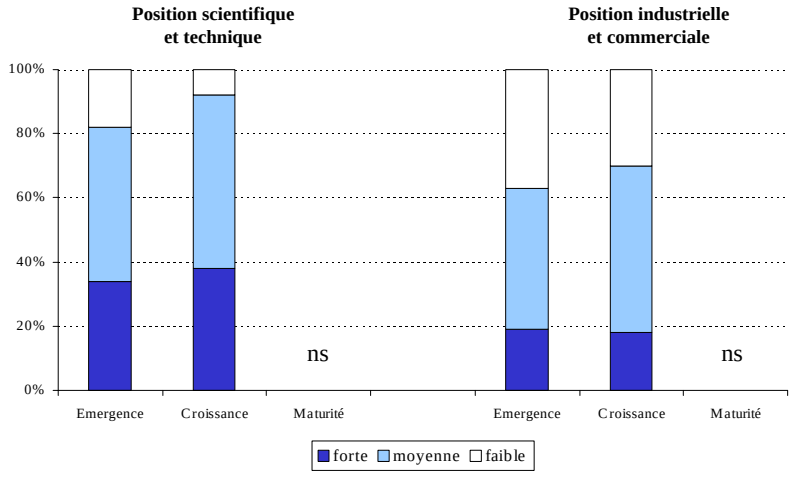
Analyse des positions scientifique & technique et industrielle & commerciale

Ensemble des technologies clés

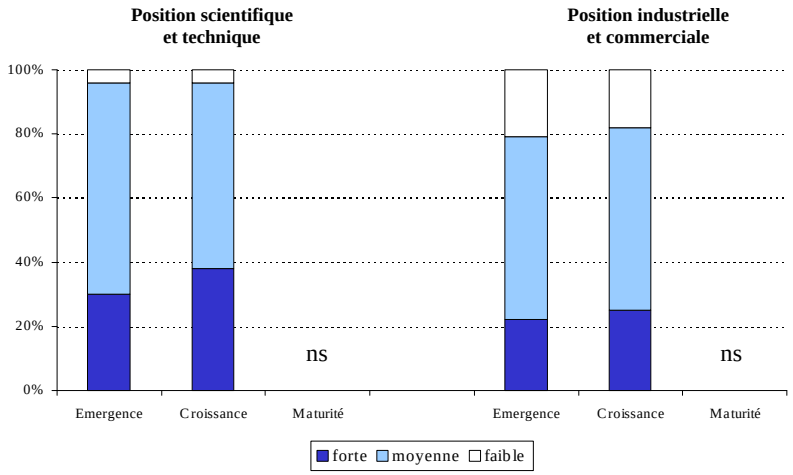


Analyse selon le degré de développement de la technologie

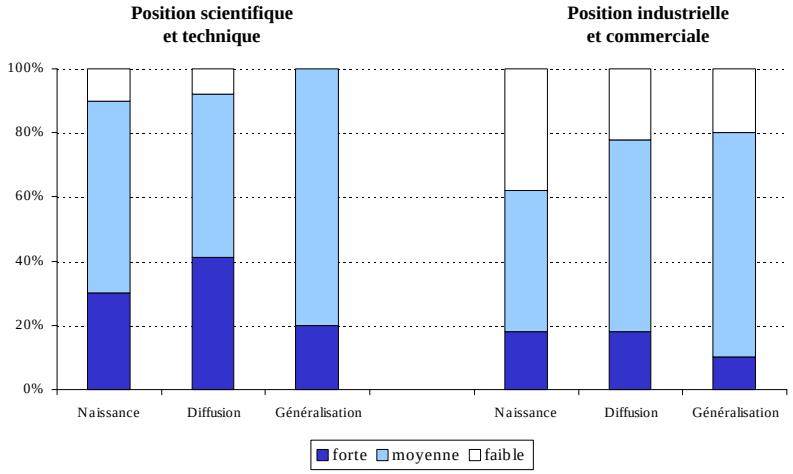
France



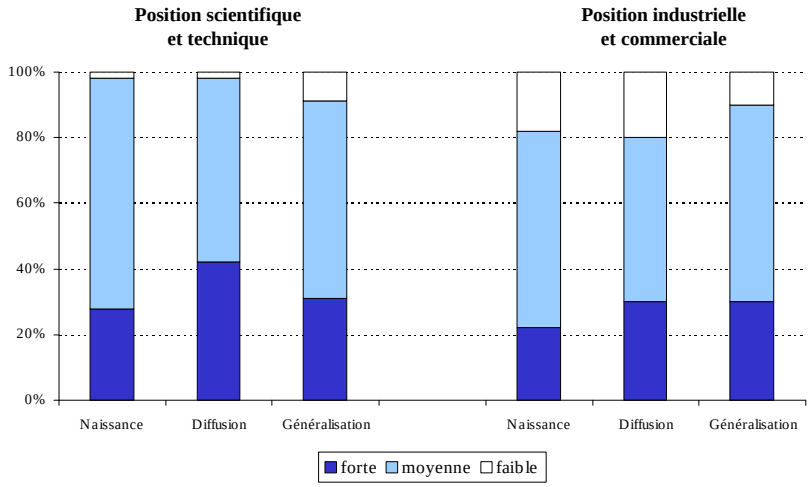
Analyse selon le degré de développement de la technologie
Europe



Analyse selon le degré de développement de l'application industrielle
France



Analyse selon le degré de développement de l'application industrielle
Europe



Avant toute chose, soulignons que l'exercice de repérage et de caractérisation des technologies qui a été conduit n'a pas été conçu dans un but statistique. Il s'est agi essentiellement d'évaluation de chaque technologie prise dans son propre contexte. Le calcul de moyennes des positions ainsi obtenues doit donc être pris pour ce qu'il est, sans lui octroyer de signification statistique et encore moins de représentativité. La méthode de construction de l'échantillon présente par exemple un biais structurel en faveur des technologies nouvelles, qu'elles soient émergentes ou en développement, puisque telle était ici notre préoccupation.
Observons néanmoins ce que semblent nous indiquer les évaluations conduites. Tout d'abord, les positions de la France et de l'Europe sont parallèles et relativement proches. Par construction la position européenne était nécessairement au moins équivalente à la position française, mais il est intéressant de constater que c'est surtout pour l'industriel et le commercial que la position européenne s'est sensiblement améliorée.
Constatons d'autre part que la position scientifique et technique moyenne de la France sur les technologies évaluées est assez nettement supérieure à la position industrielle et commerciale moyenne de la France sur ces mêmes technologies. Ce constat s'applique aussi aux positions évaluées pour l'Europe, mais dans une moindre mesure. C'est là l'indication sinon la confirmation d'une perception largement répandue : dans la compétition mondiale, la France comme l'Europe disposerait d'une science globalement mieux « placée » que leur industrie. Compte tenu de la démarche d'évaluation adoptée (par panel d'experts), il n'est pas surprenant que cette perception apparaisse ici encore.
Il est par ailleurs intéressant d'observer que les positions de la France comme de l'Europe ne dépendent guère du degré de développement de la technologie, c'est-à-dire selon qu'il s'agit de technologies en émergence ou de technologies en croissance. (Rares sont les technologies retenues qui appartiennent à la catégorie des technologies matures et le profil des positions n'a pas été représenté car il n'aurait porté que sur 3 technologies sur un total de près de 120 technologies clés). Ceci signifierait que, contrairement à une idée reçue, la position de la France (et de l'Europe) n'est pas particulièrement moins bonne sur les technologies en émergence et c'est là un signal intéressant qu'il faudra veiller à valider dans de prochaines études.

Observons en outre que la position industrielle et commerciale de la France est évaluée comme forte pour près de 20 % des technologies clés (ce pourcentage est, comme on l'a vu, plus élevé pour la position scientifique et technique) et comme moyenne ou forte pour 70 % des technologies clés. Dans un monde où la logique de la concurrence s'est imposée mais où parallèlement les échanges de technologies se sont considérablement développés, deux lectures d'un tel score sont possibles. D'un côté, certains concluront qu'il est possible et souhaitable que la France fasse mieux. Il peut être en effet dangereux de laisser à d'autres des sujets clés que l'on ne maîtrise pas ou trop mal et dont on voit bien alors qu'il sera difficile d'aller acheter le meilleur sans disposer chez soi d'une base d'expertise de bon niveau. En matière de technologie, on le sait, la problématique dite du *« make or buy »* nécessite d'être adaptée car il faut un fonds de compétences solides pour repérer les meilleurs pourvoyeurs d'une technologie, pour poser les bonnes questions, pour digérer la technologie acquise, pour la mettre en œuvre et l'améliorer. D'un autre côté, certains pourront, à l'inverse, conclure que la France ne saurait escompter être en position de leadership sur toutes les technologies, même d'avenir. Des spécialisations s'imposent. La division internationale de la production qui était dans le passé fondée sur des dotations en facteurs (du type matières premières ou travail bon marché) est appelée dans les pays développés à s'opérer demain sur les investissements cognitifs (en équipements modernes et en capital humain). Il est dans cette logique parfaitement concevable de ne pas consentir les mêmes efforts sur tous les créneaux et de tabler sur la possibilité de recourir au marché international pour accéder aux technologies qui feraient défaut. (Constatons pourtant dans le même temps que la question de la proximité géographique à ces investissements cognitifs peut être très importante pour le développement des territoires).

Au delà, il nous faut signaler deux situations intéressantes dans la position relative de la France. Un premier cas intéressant est celui où la position scientifique et technique est l'opposée de la position industrielle et commerciale. C'est par exemple le cas de « la simulation numérique des procédés », des « supraconducteurs », de « l'imagerie médicale » ou des « rétines de prise de vue » ou encore de la « modélisation moléculaire des polymères ». Un tel constat aurait sans doute conduit dans le passé à ne pas retenir cette technologie parmi les technologies clés car les chances de réussite auraient paru trop faibles. Aujourd'hui, il a été estimé que la fluidité des positions de marché était beaucoup plus grande et que la mobilité et l'adaptabilité de certaines entreprises françaises et européennes étaient suffisantes pour leur permettre d'acquérir, soit les bases scientifiques ou techniques, soit les capacités de production nécessaires lorsqu'elles en auront besoin, à la condition naturellement d'en avoir l'ambition et la ferme volonté stratégique. Un autre cas intéressant est celui où il est fait état d'une technologie en émergence alors que la position industrielle est jugée moyenne ou forte. C'est par exemple le cas du « Soutien logistique intégré », du « design sensoriel », de la « traçabilité », ou de la « chirurgie assistée par ordinateur ». Cela signifie simplement que certaines entreprises disposent des moyens humains, financiers et technologiques pour s'intéresser à cette technologie dès lors qu'elle prendra son essor pour satisfaire un marché réel. C'est là la notion de veille et d'adaptabilité grâce à une base de compétences qui permettra de pouvoir escompter prendre une place significative sur une technologie, même si on n'y est pas encore vraiment actif aujourd'hui.

La double empreinte d'un exercice de prospective

Les praticiens de la Prospective le savent bien, le processus d'un tel travail compte au moins autant que le résultat produit. En d'autres termes, au-delà des résultats concrets obtenus et présentés au travers du présent rapport, un second ensemble de résultats plus intangibles, moins palpables mais potentiellement plus conséquents, et au moins aussi pérennes, concerne l'empreinte laissée sur les acteurs par le fait même d'avoir contribué à l'exercice. Les interactions, les discussions parfois animées, les réflexions induites par les questionnements formulées (y compris à travers les questionnaires adressés aux panels du second cercle d'experts) ont visiblement permis à certains de remettre en cause une partie de leurs idées, à d'autres de nouer des relations nouvelles qui contribueront à régénérer leurs réseaux, à d'autres encore de découvrir des problématiques qu'ils connaissaient mal et qui sont pourtant de nature à alimenter leurs actions futures... Au-delà, tous auront eu à s'imposer cette discipline salutaire consistant à rallonger l'horizon de réflexion et à se projeter collectivement et de façon contradictoire dans une démarche d'anticipation prospective.

Cet autre volet d'un tel travail est souvent ignoré ou minimisé. Pourtant, il a été considéré comme prioritaire dans des études équivalentes conduites dans d'autres pays. Nous souhaitons pour notre part insister sur cet aspect en l'illustrant par le souhait explicitement exprimé par certains des experts mobilisés, désireux que l'exercice ne s'arrête pas là, mais acquiert au contraire une forme de continuité dans le temps. La question de la pérennisation de la démarche a ainsi été clairement posée.

Nous souhaitons pour terminer remercier très chaleureusement l'ensemble de tous ceux qui directement ou plus indirectement ont contribué à ce travail et qui par leurs connaissances, leur intérêt pour la démarche et leur chaleur humaine ont permis de mener à bien cet exercice. Nous y avons vu la confirmation que derrière les technologies, c'est avant tout les hommes et les femmes qui sont à l'œuvre et, pour notre part, nous ne pouvons que nous en féliciter.

Recommandations du Comité de pilotage

1 – Améliorer la position industrielle et commerciale de la France

La comparaison entre les positions scientifiques et techniques et les positions industrielles et commerciales (*) montre entre autres la difficulté qu'il y a pour les capacités scientifiques et techniques à répondre aux attentes du marché. Ce constat n'est pas nouveau puisqu'il était déjà fait dans le rapport de 1995. Il ne concerne pas seulement la France mais aussi l'Europe.

Toutefois, il faut noter que cet écart n'est pas seulement dû aux problèmes de traduction des acquis scientifiques et techniques en réalisations industrielles mais qu'il est aussi symptomatique des difficultés qu'ont les entreprises à s'organiser et à innover pour répondre le mieux possible aux attentes des marchés.

L'un des principaux défis de l'innovation en France ne relève pas de la qualité de sa recherche, mais plutôt de son peu d'implication dans la recherche technologique de base. Pour un certain nombre de technologies, il est bien évident que l'amélioration de la position industrielle et commerciale de la France passe par une meilleure collaboration entre la recherche publique et l'industrie. Pour d'autres, c'est plutôt d'une véritable coopération entre les clients et les fournisseurs, mais aussi entre les entreprises, les administrations territoriales et les organisations professionnelles, que viendra l'amélioration.

Ainsi posé, le problème revient à s'interroger sur la façon de favoriser la mise en réseau de tous les acteurs du processus d'innovation - entreprises, centre de recherche, pouvoirs publics, … - pour faire en sorte qu'ils dialoguent ensemble et s'accordent sur la meilleure manière de coopérer pour le bénéfice de tous.

Les pouvoirs publics ont déjà adopté des mesures qui vont dans ce sens. Ainsi, dans le cadre de l'appel à projet technologies clés, le Secrétariat d'Etat à l'Industrie conditionne son soutien aux projets technologiques à l'existence de "*partenariats stratégiques, nationaux ou européens, industrie-recherche ou industrie-industrie*". En jouant le rôle d'animateur et de fédérateur des efforts de recherche des divers acteurs nationaux, les réseaux de recherche et d'innovation technologique (RRIT) favorisent la coopération et le transfert des compétences entre la recherche et l'industrie, et par là même accélèrent l'innovation. Encore faut-il que la gestion des procédures mises en œuvre ne se révèle pas inadaptée à l'objectif poursuivie.

Le Comité de pilotage estime que ces mesures, visant à renforcer les coopérations, vont dans le bon sens lorsqu'elles traduisent une véritable volonté de collaboration entre les parties, et lorsqu'elles permettent de réaliser pleinement les potentialités nées de ces rapprochements.

La collaboration entre les universités, les centres de recherche, les collectivités territoriales et l'industrie crée une synergie qui, en permettant de tirer le meilleur parti des forces et du savoir-faire propres à chaque partenaire, contribue à une plus grande efficacité du système d'innovation. De plus, grâce à ces partenariats, les collectivités locales, et notamment les régions, bénéficient de la présence de ressources et d'activités qui contribuent à créer de nouvelles possibilités d'emploi et de croissance économique à l'échelle locale. Pour le Comité de pilotage, il est

(*) Pour mémoire, la position industrielle et commerciale, telle que présentée dans cette étude, caractérise la capacité des acteurs concernés à s'approprier la technologie et à la mobiliser industriellement au service de leur offre marchande. La position scientifique et technique a été définie comme étant la capacité des acteurs concernés à produire de nouvelles connaissances et de nouveaux développements techniques.

important de favoriser les rapprochements de toute nature, y compris géographiques, des acteurs de ce système, notamment les centres de recherche et les entreprises. Ceci passe sans doute, comme il l'a été souvent dit par :

- une fiscalité appropriée,
- une aide aux chercheurs qui souhaitent aller dans l'industrie (formation, possibilité de retour dans son laboratoire, …),
- des infrastructures de qualité,
- une intégration plus poussée des systèmes d'aide,
- un développement des contrats civils ou militaires aux entreprises comme le font les .Etats-Unis, par exemple.

Au moins deux autres voies peuvent être avancées, susceptibles d'améliorer la position industrielle et commerciale de la France :

- continuer à encourager la communauté scientifique à choisir davantage ses objets de recherche parmi les préoccupations de l'économie et de la société. Une telle évolution assurerait un renouvellement dans l'excellence et l'efficacité de notre potentiel de recherche fondamentale et appliquée. Pour ce faire, il faudra s'assurer que les chercheurs disposent d'une instrumentation de qualité, et réaliser les investissements requis pour que ceux-ci travaillent dans des conditions analogues à celles de nos principaux concurrents,
- inciter les centres de recherche à inventorier leurs travaux et à se doter de tous les moyens nécessaires pour les valoriser, et notamment par l'acquisition de compétences encore peu développées en matière de gestion de la propriété intellectuelle.

2 – Prendre en compte le caractère spécifique de certaines technologies

L'examen de la liste des technologies-clés montre que quelques unes de celles-ci jouent un rôle tout à fait fondamental. Ces technologies sont à la fois un point de passage obligé pour développer et proposer de nouveaux produits et services, et elles "ouvrent" sur des applications multiples, dans des secteurs très différents. En outre, elles sont susceptibles de multiples travaux de recherche porteurs de nouveaux progrès. C'est, par exemple, le cas des capteurs ou bien encore celui des bases et banques de données qui ont été identifiés comme clés par plusieurs groupes de travail. C'est surtout celui du logiciel. En effet, dans ce dernier cas, plus de la moitié des items retenus soit s'appuie fortement sur du logiciel, soit correspond à une application logicielle spécifique. Avec l'avènement de la société de l'information, les technologies logicielles se trouvent au cœur des prochains enjeux économiques, et y compris de tout ce qui touche à l'immatériel. Demandant peu d'investissement, les technologies logicielles sont à la portée d'un nombre relativement important de pays à la population bien formée. Cette donnée doit être prise en compte au moment due faire des choix.

Au regard de ces multiples potentialités, le Comité de pilotage pense qu'il faut accorder une attention toute particulière à ces technologies qui diffusent largement dans l'économie et sont des niches d'opportunités en matière de produits et de services nouveaux.

3 –Réaffirmer l'importance des technologies "organisationnelles et d'accompagnement"

L'exercice a montré qu'il y a une difficulté certaine à identifier exclusivement des technologies correspondant à la notion classique du terme. La liste des technologies-clés retient d'authentiques technologies mais aussi des systèmes technologiques, des fonctionnalités, voire des produits. Ce caractère hétérogène traduit à la fois la difficulté de l'exercice et la complexité de l'évolution technologique actuelle. Celle-ci n'est pas seulement le résultat des progrès de la dynamique de la technologie, mais aussi le fait des attentes (ou du poids) du marché (approche fonctionnalité, voire produit) et d'une imbrication toujours plus grande entre technologies et même domaines technologiques différents (approche système).

Cet aspect particulier du développement technologique pose le problème de la gestion de cette complexité. Celle –ci a pour conséquence la remise en cause de certains facteurs traditionnels de l'avantage compétitif de l'entreprise. Si la disponibilité et la maîtrise des technologies reste une condition nécessaire du succès, elle n'en est plus une condition suffisante. Il faut pouvoir combiner les technologies entre elles et les intégrer dans des produits ou des services d'une manière efficiente.

Face à ce constat, le Comité de pilotage souhaite mettre en garde les pouvoirs publics contre une approche souvent trop analytique et essentiellement axée sur l'aspect technique des projets. Il souhaite souligner l'apport primordial que peuvent apporter les technologies "organisationnelles et d'accompagnement" à la résolution du problème de la gestion de la complexité. Il note, également, que la contribution de ces technologies va bien au delà. Ces technologies sont au cœur de la résolution de tout un ensemble de problématiques liés notamment à la gestion des connaissances, à l'analyse du comportement et de la relation client, qui apparaissent, à la lecture du rapport, comme des éléments importants du changement technologique actuel.

4 – Organiser une véritable continuité de l'exercice

Malgré les difficultés rencontrées pour traduire la complexité du sujet et le caractère inévitablement simplificateur de la démarche adoptée, le Comité de pilotage estime que cet exercice reste pertinent dans son objet. Il lui paraît important que cette démarche de réflexion prospective puisse se continuer dans le temps, sans rupture. Déjà un groupe d'experts a fait connaître son souhait de continuer à travailler sur la thématique qui était la sienne. Etendre cette demande à d'autres thèmes n'aurait que des avantages. Outre le fait que cela éviterait, à chaque réactualisation de l'étude, de constituer de nouveaux groupes de travail, consommateur de temps et d'énergie, cela permettrait de disposer d'une expertise qui pourrait alerter rapidement les pouvoirs publics de toute modification soudaine des conditions d'évolution des technologies, en particulier dans les domaines où les "constantes de temps" sont très courtes.

Si une telle recommandation doit être retenue, nul doute que sa mise en œuvre devra faire l'objet d'une grande attention. Il s'agira, notamment, de favoriser le renouvellement périodique des groupes d'experts, de façon à maintenir une certaine émulation. Il nous semble aussi important que soient associés à ces travaux l'ensemble des acteurs économiques et sociaux du système d'innovation, en particulier les réseaux de recherche et d'innovation technologique (RRIT).

5 – Rechercher une réelle cohérence dans l'organisation du système d'innovation

Devant l'émergence des nouveaux acteurs que sont les régions et l'Europe, le rôle de l'Etat demeure essentiel. Il doit s'efforcer d'assurer l'efficacité du système national d'innovation pour l'ensemble du territoire. Une collaboration étroite et une meilleure coordination des activités entre les différents niveaux décisionnels sont au cœur même d'un système efficace.

A ce titre, le Comité de pilotage pense que les efforts de l'Etat doivent consister en grande partie à stimuler la collaboration entre les divers niveaux de décision, à harmoniser et mettre en cohérence le grand nombre d'initiatives relatives au développement technologique, que cet effort se fasse à travers la diffusion des technologies, la valorisation de la recherche ou de toute autre manière. Les initiatives prises devront, entre autre, clarifier les responsabilités, éviter les double emplois et offrir une meilleure "lisibilité" du système de soutien au développement technologique.

6 – Privilégier une approche européenne

Pour les membres du Comité de pilotage la dimension européenne est devenue incontournable, dans la mesure où, en 1998, aucun pays européen ne représentait plus de 5 % du PIB mondial (les Etats Unis en représentent 20,76 %). L'Union européenne met déjà en œuvre une politique de développement technologique à travers, notamment, le programme cadre de recherche développement (PCRD). Mais plutôt que de rééditer les critiques souvent faites aux programmes européens de soutien à la R&D - manque de cohérence dans les objectifs, coûts d'accès prohibitifs, etc. - le Comité, qui ne nie pas

l'importance des ces programmes, souhaite mettre en avant trois types d'action qui lui semblent particulièrement importantes, et pour lesquelles la France pourrait jouer un rôle majeur.

La première action intéresse la normalisation. Il est capital que les industriels y participent activement. Elle doit être conçue comme un outil stratégique, ce que font d'ailleurs nos principaux concurrents. En effet, la question des normes a une incidence réelle sur les succès enregistrés par les technologies de pointe, voir l'exemple du GSM. De plus en plus, les normes sont négociées sur la scène internationale par les pouvoirs publics et l'industrie. La France et surtout son industrie doivent être présents lors de l'élaboration et de l'établissement de ces normes internationales. Ils pourront ainsi exercer une influence sur celles-ci. Mais il est bien évident que dans le cadre de la Communauté européenne, ce sont les intérêts de l'Europe qui doivent être mis en avant, d'où la nécessité de définir des positions européennes communes entre les principaux acteurs européens.

La seconde action consisterait, dans les secteurs ou les activités en émergence notamment, à encourager l'élaboration de bases et de banques de données relatives aux connaissances disponibles en Europe dans des domaines prometteurs. Par cette mise en commun de savoirs dispersés, la communauté scientifique et technique disposerait d'une information précieuse qui lui permettrait d'être beaucoup plus efficace et de faire avancer ses travaux plus rapidement. De même, ce regroupement de connaissances éparses permettrait certainement de mieux répondre aux questions toujours plus précises que se pose la société sur le devenir de la science et de la technologie.

La troisième action concerne la mise à jour et l'harmonisation des nomenclatures économiques indispensable à toute comparaison fiable au sein de l'Europe, notamment. En effet, les nomenclatures disponibles ne rendent compte qu'imparfaitement de l'interpénétration grandissante entre secteurs d'activité "anciens" et technologies ou procédés nouveaux, à l'origine de l'émergence de nouveaux domaines d'activité. Aujourd'hui, des domaines et sous-domaines nouveaux, aux contours encore imprécis, mais doté d'une "vie propre", renvoyant à des logiques de développement économiques spécifiques, s'affirment. Or, les nomenclatures actuellement en vigueur permettent difficilement d'identifier une entreprise ou un laboratoire qui se développe autour de ces nouveaux champs d'activité. Les nomenclatures de type N.A.F., par exemple, apparaissent historiquement datées et pratiquement inutilisables dans un esprit et un souci de recommandation pratique et /ou politique.

Il semble qu'il y ait désormais place pour une réflexion de large ampleur au niveau européen afin de procéder à de nouvelles classifications, en sortant du strict champ d'analyse sectoriel. A notre connaissance, ni les Etats-Unis, ni le Japon n'ont pour l'instant entrepris une telle réflexion sur une base élargie. Un tel travail nous apparaît cependant en mesure d'influencer les analyses et appréciations sur les technologies, produits et activités futures et donc, de conditionner la manière dont l'Europe et les pays qui la composent se positionneront ensemble dans l'économie mondiale.

A la suite de ces mesures relativement concrètes, le Comité de pilotage formule un souhait : celui de l'élaboration d'une réglementation "moderne". De nos jours, la réglementation a une incidence de plus en plus marquée sur l'avantage concurrentiel des entreprises et la vitalité économique d'un pays. Les règlements sont présentés comme les garants de marchés concurrentiels, de la santé de la population, de la sécurité publique ou d'un environnement sain, mais encore faut-il les concevoir et les appliquer de manière judicieuse. Des règlements bien imaginés peuvent stimuler l'innovation et accroître la compétitivité de l'industrie. En revanche, des règlements mal conçus peuvent entraîner une augmentation des coûts, compromettre le développement de produits et services novateurs. Les pouvoirs publics, et plus particulièrement les instances communautaires, doivent chercher à rationaliser les divers règlements, à simplifier les procédures, et lorsque cela est possible à avoir recours à des solutions autres que la réglementation pour atteindre les mêmes buts.

7 – Valoriser la culture scientifique et technique

Depuis toujours, le progrès économique a été tributaire des idées nouvelles et de l'innovation, c'est à dire du savoir. Aujourd'hui, on constate une très large acceptation de l'idée que la connaissance joue

un rôle primordial dans la croissance économique. Le savoir revêt au moins autant d'importance que le capital physique et financier en tant que source d'expansion économique.

Pour stimuler l'innovation et donc la création de richesse, le France doit pouvoir s'appuyer sur une culture scientifique et technique bien établie. En effet, la culture scientifique et technique est à la fois question de mentalité et de compétences. Elle se nourrit de l'esprit de curiosité et de découverte. Elle est ouverte à la remise en question et au changement.. Les jeunes, tout particulièrement, doivent comprendre et voir les avantages de l'acquisition de connaissances scientifiques et techniques.

Renforcer la culture scientifique et technique est l'affaire de tous. Des mesures législatives ne permettront pas à elles seules d'atteindre cet objectif. Seules des actions provenant de tous les acteurs de la société, et notamment du monde de l'éducation et des médias, pourront conduire à ce résultat.

8 – Affiner les stratégies pour faire des choix judicieux

L'Etat est dans son rôle lorsqu'il cherche à déterminer les grands objectifs qui constitueront l'horizon technologique des acteurs du système d'innovation des années futures. Le décalage entre l'Europe, et donc la France, et les Etats-Unis devient crucial dans un certain nombre de domaines. Il est indispensable, dès aujourd'hui, d'agir en ciblant et en augmentant les moyens de la recherche.

Comme cela a été rappelé en introduction, la France ne peut plus se permettre de disperser ses efforts sur la totalité du champ technologique : il lui faut faire des choix. Cela ne sera pas facile, tout choix étant douloureux et risqué. Mais s'abstenir de le faire c'est prendre un plus grand risque encore, et se retrouver dans une situation où ces choix seront plus difficiles.

Comme le montrent certains exemples étrangers, ces choix doivent s'inscrire dans une stratégie claire et précise. Ils doivent :

- se faire de concert avec les choix de politique industrielle et technologique européenne et s'effectuer en étroite relation avec la politique commerciale mise en œuvre aussi bien au niveau national qu'européen. On ne peut s'engager aujourd'hui de façon crédible sur des priorités qui ne bénéficieraient pas des effets fédérateurs que représentent l'intégration des industries en Europe ;
- s'appuyer sur des données chiffrées précises permettant de retracer le positionnement compétitif du pays, et ce, non pas sur la base de données strictement sectorielles, mais identifiant, par de nouvelles nomenclatures, des domaines de compétences transversales, qui irriguent les dynamiques d'innovation de diverses industries, et construisent leurs avantages compétitifs ;
- Faire l'objet d'une concertation ouverte. On a vu en particulier que les questions d'acceptabilité sociale des technologies et les conditions dans lesquelles elles sont accueillies sont déterminantes de leur devenir. Par ailleurs, de tels débats participent à diffuser une culture technologique susceptibles d'améliorer les utilisations qui en seront faites.

Le Comité de pilotage souhaite rappeler, une fois encore, que lors de ces choix, la notion d'atout ou de position acquise doit être prise avec discernement.

Dans le passé récent, il était souvent considéré que les positions acquises constituaient un solide garant pour le développement futur dans des domaines voisins. Sans que ceci soit totalement remis en question –et c'est bien pour cela qu'il est recommandé que les décisions soient prises aussi rapidement que possible par tous les acteurs concernés – l'exercice qui vient d'être effectué semble indiquer que la situation est aujourd'hui assez différente. L'évolution rapide des technologies, la demande pour des produits nouveaux et plus complexes, la plus grande disponibilité sur le marché mondial de technologies ou produit de base et une plus grande réactivité des entreprises, tout cela contribue, aujourd'hui, à rendre souvent possible la conquête de marchés, voire des retournements de situations, autrefois jugés invraisemblables.

Cette situation nouvelle a été bien entendu prise en compte dans le choix des technologies. Elle devrait sans doute aussi faire l'objet d'une attention nouvelle de la part des pouvoirs publics lors des choix qu'ils auront à faire.

L'objectif de ce rapport n'est pas de faire ces choix, mais d'être un outil d'aide à la décision pour les fonder en connaissance de cause.

Le Comité de pilotage pense que les technologies – clés retenues sont importante pour la France et qu'elles lui sont accessibles. Parmi celles-ci, un très grand nombre sont ou seront effectivement développées et commercialisées par le secteur privé. Il appartient donc aux décideurs politiques :

d'appuyer, si nécessaire, le secteur privé dans certaines de ces réalisations ;
de jouer, dans la mesure du possible, un rôle moteur dans le développement des technologies que le secteur privé n'aurait pas les moyens ou la volonté de développer directement.

La mondialisation de l'économie et la rapidité de l'évolution technologique poussent à ce que les choix qui seront faits le soient à bon escient, qu'ils soient à la hauteur des enjeux, qu'ils se fassent rapidement, tout comme leur mise en œuvre.

Annexes

Bibliographie

Liste des contributeurs au projet : Comité de Pilotage, Groupes de travail

Rappel de la liste des « Technologies clés 2000 »

Thésaurus

Bibliographie

- **ADIT,** septembre 1997, *L'annuaire des Technologies clés*, Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie, Secrétariat d'Etat à l'Industrie, Direction générale des stratégies industrielles
- **Alain MAUGARD,** décembre 1999, Regard sur le futur en construction
- **Baudchon**, 1er juilet 1999, « Une troisième révolution industrielle aux Etats-Unis », *Lettre de l'OFCE*, n° 187, repris dans *Problèmes Economiques*, n° 2642, 1er décembre 1999, p. 11-14
- **BEST – Howard Associates,** march 1998, *Green Building : a primer for builders, consumers and realtors*
- **Brousseau A.D., Volatier J.L**., septembre 1999, "Femmes : une consommation plus prudente et plus citoyenne", CRÉDOC, *Consommation et Modes de vie*, n° 137, septembre 1999
- **CDC** Consultant, juin 1998, *Actualisation de l'étude sur les 100 Technologies clés pour l'industrie française à l'horizon 2000*
- **Collerie de Borely**, 28 février 1998, L'innovation technologique commence à séduire les seniors. *Consommation et Modes de vie*, n° 124
- **Derhy**, 1995, "Les fusions et acquisitions en France de 1959 à 1962 : évolution et caractéristiques", *Revue d'Economie Industrielle*, n°73, 3e trim., pp.19-43
- **Desessard Jean-François,** mai 1998, *Technologies Internationales*, Prouesses techniques pour une architecture audacieuse, n°44
- **Durand Thomas**, 1996, "*National Management of Technology and Innovation: Integrating the Firm's Perspective into Government Policies",* in Strategic Integration, edited by H. Thomas and D. O'Neal, John Wiley & Sons Ltd., 1996
- **Durand Thomas**, 1992, *"Dual Technological Trees: Assessing the Intensity and Strategic Significance of Technological Change",* Research Policy, July 92
- **Durand Thomas**, 1999, *"Innovation, Trajectoire Technologique, Ressources Technologiques, Découverte, Invention, Stratégie technologique",* Chapitres et sections de définition, Encyclopédie de Gestion et de Management, dirigée par Robert Le Duff , Dalloz
- **Financial Times**, 10 septembre 1999, *Inconspicuous Consumption*
- **Freeman C., Perez C**., 1988, "Structural Crises of Adjustment, Business Cycles and Investment Behavior", in Dosi G., Freeman C., NELSON R. , Silverberg G. and Soete L. (ed.), *Technical Change and Economic Theory, Pinter Publishers*, London & New York, pp.38-66
- **Freeman C, Soete L**., december 1990, "Fast Structural Change and Slow Productivity Change : Some Paradoxes in the Economics of Information Technology*", Structural Change and Economic Dynamics*, vol.1, n°2, pp.225-242.
- **Frank Robert**, 1999, *Luxury Fever. Why money fails to satisfy in an era of excess*. The Free Press
- **Gardes François**, 1983, L'évolution de la consommation marchande en Europe et aux USA depuis 1960. *Revue Consommation*. CRÉDOC, n° 2. 3-35
- **Hatchuel G. et Loisel JP**., mars 1998, "De plus en plus d'automobilistes se disent prêts à agir pour limiter la pollution de l'air". *Consommation et Modes de vie*, n° 125
- **Hatchuel G., Volatier J.-L**., novembre 1991, "La diffusion des craintes dans la société française. Les "nouveaux" inquiets", CRÉDOC, *Consommation et modes de vie*, n°62,
- **Henry Patrick,** septembre 1997, *Technologies Internationales*, Les Etats-Unis relancent leur R&D, n°37
- **Herpin N. et Verger D**., 1999-4/5, "Consommation : un lent bouleversement de 1979 à 1997", *Economie et Statistique*, n° 324-353, p. 19-49
- **HMSO,** juin 1996, Competitiveness : *Creating the entreprise centre of Europe*, Londres
- **HMSO**, mai 1995, *Competitiveness : Forging ahead*, Londres.
- **HMSO,** novembre 1995, Science and technology committee, first report : *Technology Foresight*, Volume 1 : Report and Minutes of proceedings, Londres
- **HMSO,** novembre 1995, Science and technology committee, first report : *Technology Foresight*, Volume 2 : Minutes of evidence and appendices, Londres

- **Industries et Techniques ,** novembre 1997, *Dossier : des techniques fines pour le bâtiment*, n°787
- **Ingénieur de l'automobile**, avril 1999, *Le multimédia va bouleverser l'architecture électronique du véhicule et faire entrer l'automobile dans l'ère des services*
- **Ingénieur de l'automobile**, mai 1999, *Moteurs : l'injection directe, plus que jamais*
- **IPTS,** october 1999**,** *The IPTS Report- Special issue : « Europe 2010 : futures and scenarios ,* n°38, European Commission, Seville
- **Japenese and World Technology Evaluation Centers ,** march 1997, *Panel report on Rapid Prototyping in Europe and Japan*, Volume 1
- **Khaber R., Parisot C., Mourier J.-L**, 1999 « La France à l'heure des technologies de l'information », *Le Point Mensuel*, mai, repris dans *Problèmes Economiques*, n° 2642, 1er décembre 1999, pp. 25-27
- **Les Cahiers du Techniques du Bâtiment - SMBTP**, septembre 1998, *Dossier spécial BATIMER 98*, Innovation et qualité : le nouvel enjeu du bâtiment, n°191
- **Levy-Garboua Louis**, 1983,"Les modes de consommation de quelques pays occidentaux : comparaison et lois d'évolution". *Revue Consommation*. CRÉDOC, n° 1. 4-14
- **Loisel J.-P. et al**, janvier 1999, *Les comportements des consommateurs européens. Une analyse comparative portant sur la France, l'Allemagne, la Grande-Bretagne et l'Italie*, Cahier de Recherche CRÉDOC, n°126
- **Mantelet Janie – Orselli Jean,** février 1998, *Technologies Internationales*, Systèmes de navigation : le Japon continue à progresser, n°41
- **Maslow A**., 1943, "A theory of Human Motivation", *Psychological Review*, vol. 50, p. 370-396.
- **Maugard Alain,** décembre 1999, *Regard sur le futur en construction*
- **McGuckin-Stiroch**, avril 1998, "Computers, Productivy and Growth", Economic Research Report", The Conference Board
- **Ministère de l'Industrie,** juillet 1995, *Les 100 Technologies Clés pour l'industrie française à l'horizon 2000*, Direction générale des stratégies industrielles
- **Moati P., Mouhoud E.M**, 1994, "Information et organisation de la production. Vers une division cognitive du travail", *Economie Appliquée*, tome XLVI, n°1, pp.47-73
- **Moati P., Mouhoud E.M**, 1997, "Compétences, localisation et spécialisations internationales", in B. Guilhon, P. Huard, M. Orillard, J.-B. Zimmermann (eds.), *Economie de la connaissance et organisations. Entreprises, territoires, réseaux*, L'harmattan, Paris, pp.262-285
- **Moati P., Mouhoud E.M**, 2000, « Division du travail, coordination et localisation internationale », in M. Delapierre, Ph. Moati, E.M. Mouhoud (eds.), *Connaissances et mondialisation*, Economica, à paraître
- **Moutardier Mireille**, septembre 1993, Les modes de consommation dans la CEE. *Problèmes Politiques et Sociaux*, n° 710
- **National Research Council,** 1999, *Review of the research program of the partnership for a new generation of vehicles*, Fifth report, Washington DC
- **Nedey Fabienne,** septembre 1998, *Décision Environnement 69*, Véhicules propres : à la recherche d'une stratégie
- **OST,** 1996, Foresight : *First Progress Report*, Londres
- **OST**, décembre 1996, *Winning through Foresight : a strategy taking the foresight programme to the millenium*, Dept. of Trade and Industry, Londres
- **OST,** décembre 1998, *Blueprint : For the next round of Foresight*, Londres
- **OST,** mai 1995, Progress Through Partnership *: Report from the Steering Group of The Technology Foresight*, Londres
- **OST**, mars 1998a, *Consultation on the next round of the Foresight Programme*, Dept. of Trade and Industry, Londres
- **OST**, mars 1998b, *The future in focus : a summary of national foresight programmes*, Dept. of Trade and Industry, Londres
- **Pacific Northwest Pollution Preventive Resource Center,** may 1999, *Topical REports : Alternative Fuels for Fleet Vehicles*, Seattle

- **Petit J.-P., Kragen E**., avril 1999, “Après la décennie glorieuse, où vont les Etats-Unis ?”, *La Lettre de conjoncture de la BNP*,. Repris dans *Problèmes Economiques*, n° 2642, 1er décembre 1999, pp. 7-11
- **POST,** juin 1997, *Science shaping the futur ?, future oppotunities in wealth creation, Making the most of science and engineering*, Londres
- **PREST,** 1998, University of Manchester, *Science and technology in UK*, second edition
- **PREST,** septembre 1995, *Delphi Survey* : A Report to the Office of Science and Technology University of Manchester
- **Spaak Marie-Laure,** mai 1997, *Technologies Internationales*, La recherche privée dans la construction au Japon, n°34
- **Rochefort R,** 1995., *La société des consommateurs*, Editions Odile Jacob,
- **Rochefort R,** 1997., *Le consommateur entrepreneur*, Editions Odile Jacob
- **Rochefort R**., mars 1996, Collerie de Borely A., "La consommation "engagée" progresse", *Consommation et Modes de Vie*. n° 106,
- **US Departement of Energy,** summer 1996**,** *Alternative Fuel Vehicles*, The Emerging Emissions Pictures, Interim results

Liste des contributeurs au projet : Comité de Pilotage, Groupes de travail

Comité de Pilotage

Jean JACQUIN - *AURIGA* *Président du Comité de Pilotage*

Pierre AMOUYEL - *ANRT*
Joseph BAIXERAS - *CNRS*
Marc BENNER - *EDF/D2*
Philippe BOURGEOIS - *Industrie-DiGITIP-SIQ*
Jacques de la VILLEON - *DATAR*
Dominique DEBERDT - *Industrie-DiGITIP-SIQ*
Alain DELHOMELLE - DRIRE *Limousin*
Jean-Jacques DUBY - *Supelec*
Elisabeth DUPONT-KERLAN - *MENRT/DT*
Olivier BRAMAUD-GRATTEAU - *MENRT/DT*
Thomas DURAND – *CM International*
François FAHRI – *CM International*
Claude GAILLARD - *Industrie-DiGITIP-SIM*
Jean-Pierre GALLAND - *METL/DRAST*
Jacques GRISONI - *Santé/DH*
Jean GUINET - *OCDE*
Sandrine HAAS - *CGP*
Jean-Paul KARSENTY - *Académie des Sciences*
Jean-François LAFAYE - *ANVAR*
Pascal LAGARDE - *Industrie-DiGITIP-STSI*
Richard LAVERGNE - *Industrie-DGEMP*
Hugo HANNE - *Industrie-DGEMP*
Michel LEFEVRE - *CEA*
Olivier LINDENMEYER - *MEFI/Dir. Prévision*
Josy MAZODIER - *Industrie-DiGITIP-SIQ*
Guy MOTTARD - *Min. Env./SEI*
Roger PAGEZY - *ANRT*
Claude POINSOT - *Industrie-DARPMI*
Grégoire POSTEL-VINAY - *Industrie-DiGITIP-OSI*
Michel RIEUX - *DGA/DSP*
Cécile SEELINGER – *CM International*
Jacques SERRIS - *Industrie-DiGITIP-SIQ*
Eric SPITZ - Thomson *CSF*
Jacques THEYS - *METL/DRAST*
Olivier MULLER - *Min. Agr./DGAL*
Patrick TRICOLI - *Sanofi-Synthelabo*
Philippe ZENATTI - *Industrie-DiGITIP-SIQ*

Consultants CM International

Thomas DURAND
François FARHI
Nicolas KANDEL
Cécile SEELINGER
Marie DANIEL
Philippe BASSOT
Eléonore MOUNOUD
Karine BRULE

Intervenants Fondation Villette Entreprise

Christophe TARDIEU
Jean-Marie SANI
Gilles LALOUM

Coordination et suivi

Dominique DEBERDT
Philippe BOURGEOIS (chef de projet)
Philippe ZENATTI

Groupes de travail

Interactivité - Qualité

Claude NEUSCHWANDER – *MCN CONSEIL*
Thomas DURAND – *CM INTERNATIONAL*
Philippe BOURGEOIS - *Industrie-DiGITIP-SIQ*
Louis CHALANSET – *INNOVATION 128*
Philippe GARDERET - *CEA*
Robin MIEGE – *COMMISSION EUROPEENNE*
Philippe MOATI - *CREDOC*
Eleonore MOUNOUD – *CM INTERNATIONAL*
Jacques PAGEZY - ANRT
Jacques de la VILLEON - *DATAR*

Technologies de l'Information et Communication

Jean-Pierre GLOTON - *GEMPLUS*
Laurent GOUZENES - *ST MICROELECTRONICS*
Laurent KOTT - *INRIA*
Olivier PROTARD - *SOFINNOVA*
Stéphane ROUSSIER - *SR CONSULTANT France*
Dominique VERDEJO - *ILOG*
Serge GOURRIER - *PHILIPS LABORATOIRES D'ELECTRONIQUE*
Francis JUTAND - *France TELECOM CENT*
Gérard ROUCAIROL - *BULL*
Antoine WEIL - *GITEP*
Dominique LAMICHE - *FRANCE TELECOM*

Matériaux - Chimie

Gilles ARGY - *HUTCHINSON*
Jean-Marie DUBOIS - *SOCIETE FRANCAISE METTALURGIE-MATERIAUX*
Jean-Claude GUILLAIS - *SATS*
Pierre LAMICQ - *SNECMA*
Gérard MAEDER - *RENAULT TECHNOCENTRE*
Christian SAYETTAT - *CETIM*
Jean-François BAUMARD - *CNRS*
Jean GAUTHIER-LAFAYE - *RHODIA*
Jean-Claude LACHAT - *SOLLAC*
Claude LEROUX - *VIDE ET TRAITEMENT SERVICES*
Jean-Claude VAN DUISEN - *EDF*
Jean-Louis VAYSSE - *PLASTIC OMNIUM*

Construction - Infrastructure

Paul BREJON - *FEDERATION FRANCAISE DU BATIMENT*
François DURIER - *CETIAT*
Marc LANDOSWSK I- *CABINET DUBOC LANDOSWKI*
Jacques RILLING - *CSTB*
Michel VERNOIS - *CTBA*
Vincent COUSIN -*Groupe GTM*
Jean-Claude FERTE - *ENTREPRISE QUILLE*
Jacques LUGIEZ
Jacques LOUPIAS - *LES CAHIERS DU BATIMENT*
Dominique ROUSSEL - *LEGRAND*

Energie - Environnement

Robert de FRANCLIEU - *PHOTOWATT*
Georges DUPONT-ROC - *TOTAL*
Maurice GELUS - *FRAMATOME*
Alain NAVARRO - *RECORD*
Claude RAISSON - *CETIAT*
Philippe CHARTIER
Jean-Jacques DOYEN - *SUEZ LYONNAISE DES EAUX*
Michel DUTANG - *CGEA*
Paul LECOMTE - *CNRSSP*
Christian NGO -*CEA*
Pierre ROSSETI
Jacques REPUSSARD - *INERIS*
Guy ZACHARIE-EDF - *Division R&D*

Technologies du Vivant – Santé - Agroalimentaire

Jean CHABBAL - *TRIXELL*
Pierre FEILLET - *INRA*
Pierre GUESRY - *NESTLE*
Jean-Louis HOUDEBINE - *INRA*
Pierre MONSAN - *INSA*
André SYROTA – *CEA*
Thierry DAMERVAL – *CEA*
Bernard DAUGERAS - *AURIGA*
Francis GALIBERT - *FACULTE DE MEDECINE*
Claude HELENE – *MUSEUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE*
Alain JOUQUEY - *HOECHST -MARION-ROUSSEL*
Michel SEBILLOTTE - *INRA*
Guillaume BOISBAUDRY - *HOPITAL BROUSSAIS*
Françoise MOISAND – *INSERM*

Transport - Aéronautique

Catherine BOULANGER - *PSA PEUGEOT CITROEN*
Claire HOCQUARD - *MATRA MARCONI SPACE*
Gérard FOUILLOUX - *SNECMA*
Alain JOLIVET - *ARSENAL DE TOULON*
Jean-Pierre ORFEUIL - *INRETS*
Jean-Paul ROUET - *SAGEM*
Emmanuel d'ORSAY - *VALEO*
Bernard FAVRE - *RENAULT VI*
François LACOTE - *SNCF*
Jean-Marc THOMAS - *AEROSPATIALE*
Jean-Louis LACOMBE - *AEROSPATIALE*

Biens et services de consommation

Patrick BOZEC - *ESSILOR*
Isabelle FELIX - *GALERIES LAFAYETTE*
Etienne HIMPENS - *VERRERIE CRISTALLERIE D'ARQUES*
Vital PARISE - *MOULINEX*
Michel LALANDE - *MOULINEX*
Georges ROCH - *MAG INFO*
Laurent COUSIN - *SODEXHO*
Philippe FREYCHAT - *DECATHLON*
Victor JAKIMOVITCH - *FNAC*
Guy LAPASSAT - *CREDIT COMMERCIAL DE France*
Gérard PRESSOUYRE - *TEFAL SA*
Patrick VICERIAT - *AFEST*

Technologies et Méthodes de Conception – Gestion - Production

Georges TAILLANDIER – *Association Française du Prototypage Rapide*
Claude DUPUIS - *RENAULT AUTOMATION*
Jean-François BASSEREAU - *ENSAM*
Pierre DEVALAN - *CETIM*
Serge TICHKIEWITCH - *Ecole Nationale Supérieure de Génie Industriel*
Alain VIGNOT - *3M France*
Guy DEVIESE - *3M France*
Jean-Claude BOCQUET - *ECP*
Jean-Luc LAFFARGUE - *GROUPE QUALITIQUE*
Patrick TRUCHOT - *ENSGSI*
Christian ZAFFRAN - *L'OREAL*
Jean-Pierre de MESSANT - *SAP France*
Jean-Louis DUMAS - *N. SCHLUMBERGER*

Rappel de la liste des « Technologies Clés 2000 »

Technologies de l'information et de la communication

Algorithmes de compression et de décompression d'image et de son
Architectures client-serveur
Architectures massivement parallèles
Batteries pour équipements électroniques portables
Câbles et fibres optiques
Composants d'interconnexion et d'interface
Composants hyperfréquences
Composants opto-électroniques
Conception et fabrication de composants à faible consommation
Connexion de machines et/ou d'applications différentes ou middleware
EDI
Ecrans plats
Ergonomie écran-clavier
Gestion de réseaux intelligents
Images de synthèse
Ingénierie linguistique
Interfaces métaphoriques
Mémoires flash
Mémoires de masse
Outils de programmation (génie logiciel)
Programmation orientée objet
Reconnaissance de la parole
Reconnaissance de formes
Réseaux neuronaux
Sécurité pour systèmes transactionnels
Serveurs vidéo
Systèmes à base d'agents
Systèmes de navigation pour services multimédias
Systèmes temps réel
Technologies submicroniques profondes
Tests et certification de logiciels
Transmission et commutation large bande

Matériaux

Alliages de polymères
Caractérisation et surveillance de l'endommagement de pièces
Collage structural
Elaboration de composites à matrice organique
Logiciels de modélisation complète des matériaux et des procédés de mise en œuvre
Matériaux adaptatifs
Matériaux pour procédés pour hautes températures
Nouvelles fibres textiles
Polymères piézo-électriques, ferroélectriques et magnétiques
Revêtements de surface multifonctions
Synthèse de molécules complexes

Bâtiment et Infrastructures

Bétons à performances optimisées
Entretien et réhabilitation des réseaux d'eau et d'assainissement
Gestion de l'air dans les bâtiments
Gestion des ressources en eau
Outils de connaissance du vieillissement des ouvrages de BTP
Techniques d'exécution des travaux souterrains

Energie

Composants électroniques de moyenne puissance
Contrôle-commande des grands systèmes
Conversion de la biomasse
Eclairage domestique à faible consommation
Maintenance des grands systèmes
Nucléaire propre et sûr
Photovoltaïque
Production pétrolière et gazière par grands fonds
Récupération optimisée du pétrole
Stockage et transport du gaz naturel liquéfié
Traitement des fumées résultant de la combustion de charbon et des déchets

Environnement

Décontamination et réhabilitation des sols
Epuration biologique des eaux et traitement des boues
Inertage et stockage des déchets nucléaires
Inertage et stockage des déchets ultimes
Métrologie appliquée à l'environnement
Modélisation et impact des polluants
Nettoyage sans effluents
Recyclage des polymères
Stockage souterrain des déchets
Traitement des déchets urbains
Traitement et contrôle de la qualité de l'eau potable
Tri, stockage et compactage des déchets urbains
Utilisation des filières transversales pour la destruction des déchets

Santé et technologies du vivant

Animaux transgéniques
Anticorps monoclonaux
Biomatériaux pour appareillage médical
Cartographie des génomes
Conservation des aliments (haute pression, ionisation, etc.)
Extraction, séparation, purification (« downstream processing »)
Imagerie médicale
Matières premières végétales à haut rendement pour les biocarburants
Médicaments recombinants
Méthodes rapides de détection microbiologiques
Microbiologie prédictive
Microtechniques

Modification génétique des plantes
Pharmacologie basée sur l'échange cellulaire
Séquençage automatisé de l'ADN
Sondes moléculaires
Substituts du sang
Suppléance cardiaque
Systèmes de production de protéines recombinantes
Techniques liées à l'hospitalisation à domicile (HAD)
Technologies peu invasives d'intervention médicale
Thérapie génique
Vaccins issus du génie génétique

Transports

Amélioration de la recyclabilité des véhicules
Batteries pour véhicules électriques
Climatisation des véhicules
Composants électroniques de très forte puissance
Conception de poste de contrôle et de pilotage pour véhicule
Contrôle et gestion dynamique des flux routiers
Diminution de la consommation de carburant des moteurs
Matériaux absorbants pour tenue aux chocs
Moteur (à combustion) propre
Positionnement des véhicules routiers
Réduction de la masse des véhicules automobiles
Réduction des bruits aérodynamiques (avions et trains à grande vitesse)
Réduction des bruits des véhicules automobiles
Simulation et protection pour la compatibilité électromagnétique
Technologies roue-rail à très grande vitesse

Technologies organisationnelles et d'accompagnement

Analyse de la valeur, analyse fonctionnelle, conception à coût objectif
Documentation et rédaction de manuels
Ergonomie des postes de travail et des produits professionnels
Ergonomie des produits de grande consommation
Etiquettes électroniques
Gestion de l'information logistique en temps réel appliquée à la gestion des flux
Ingénierie simultanée
Méthodes de mise en œuvre de la qualité
Métrologie sensorielle
Modèles d'amélioration de fiabilité et de simulation des risques
Modélisation de la sociologie des organisations
Outils de gestion de projets complexes
Prototypage rapide
Sûreté de fonctionnement

Production, instrumentation et mesure

Capteurs intelligents
Catalyse
Coulée directe et procédés continus d'élaboration de l'acier
Découpe par jet d'eau
Découpe laser
Désassemblage des produits en fin de vie
Equipements pour unités de production de semi-conducteurs
Essais non destructifs
Microtechniques
Procédés de séparation membranaire
Robotique en milieu hostile
Spectrométrie de masse
Système de gestion de l'ultrapureté pour l'électronique

Thésaurus

1. **2D/3D**	(CPG – Multi représentation) + (NTIC – Synthèse d'image 2D/3D et de sons, animés)
2. **Acoustique**	(EE – Réduction des bruits) + (CIH – Systèmes performants pour enveloppe de bâtiments)
3. **Actionneurs**	(TAE- Capteurs) + (TAE – Architecture électrique) + (TAE – Sûreté des systèmes)
4. **ADN**	(IAA – Transgénèse + Biopuces)
5. **Agents intelligents**	(BSC- Les agents intelligents) + (CIH – Réalité virtuelle augmentée pour la conception architectural et technique)
6. **Algorithmes**	(MC – Modélisation moléculaire des polymères) + (NTIC – Transmission temps réel de contenus multimédia)
7. **Aliments**	(IAA – Traçabilité + Technologies douces)
8. **Alliage de polymères**	(MC – Alliages de polymères + Matériaux absorbants)
9. Alliages	(EE – Supraconducteurs)
10. Aménagement urbain	(CIH – Les techniques des travaux souterrains)
11. Amplificateurs	(NTIC – Microélectronique III V)
12. Analyse des besoins	(BSC – Technologies favorisant la définition du profil des individus dans une optique de marketing stratégique)
13. **Animaux**	(IAA – Miniaturisation des instruments de recherche médicale) + (BSC- Les étiquettes, les identifiants intelligents – Objets communicants autonomes)
14. **Anthropométrie**	(CPG – Représentation de la perception..) + (CPG – Simulation,…)
15. **Application**	(IAA – Organes bio-artificiels + Ingénierie des protéines + Thérapie cellulaire + Imagerie médicale) + (NTIC – Synthèse d'image 2D/3D et de sons, animés)
16. **Architecture**	(TAE – Véhicule intelligent et communicant) + (CIH – Systèmes performants pour enveloppe de bâtiments) + (NTIC – Qualité de service en IP + Intégration d'applications, langage XML, et autres langages évolués + Technologies de spécification, de conception, de preuve, d'optimisation et de simulation de grands systèmes complexes + Microélectronique silicium + Assistants digitaux portables)
17. Archivage	(NTIC – Mémoires de masse)
18. Artificiels	(IAA – Greffe d'organe)
19. **Assemblage**	(TAE – Architecture électrique) + (MC – Evaluation non destructive de l'endommagement des matériaux et des assemblages) + (NTIC – Technologies de spécification, de conception, de preuve, d'optimisation et de simulation de grands systèmes complexes)
20. Authentification	(NTIC – Sécurité, Cryptologie)
21. Automatique	(TAE – Sûreté des systèmes)
22. Automatisation	(NTIC – Equipements et matériaux pour salles blanches, robotique)
23. **Base de données**	(BSC – Technologies favorisant la définition du profil des individus dans une optique de marketing stratégique + Le design sensoriel y compris la métrologie sensorielle) + (MC – Logiciels et bases de données des propriétés des matériaux)

24. **Bâtiment**	(EE- Technologie de la déconstruction) + (CIH – Réalité virtuelle augmentée pour la conception architectural et technique + Conception et mise en œuvre des ouvrages dans une logique de développement durable + Systèmes performants pour enveloppe de bâtiments) + (NTIC – Equipements et matériaux pour salles blanches, robotique)
25. Batteries	(NTIC – Batteries et gestion d'énergie)
26. Besoins	(CPG – Simulation,…)
27. **Béton**	(CIH – Le béton à performances optimisées + Les techniques des travaux souterrains)
28. Biocapteurs	(EE – Outils de gestion et d'évaluation des risques environnementaux et sanitaires)
29. Biochimie	(MC – Procédés biotechnologiques et biomimétriques de synthèse de minéraux et polymères)
30. Blindage	(TAE – Compatibilité électromagnétique)
31. **Boucle locale**	(NTIC – Réseau domestique numérique + Technologies de boucle locale)
32. Bruit	(EE – Réduction des bruits)
33. Câblage	(NTIC – Réseau domestique numérique)
34. CAO (Conception Assistée par Ordinateur)	(CPG – Multi représentation)
35. **Capteur**	(IAA – Biopuces) + (CPG – Représentation et gestion des processus de l'usine numérique) + (BSC – L'offre de produits et de services de grande consommation à base de réalité virtuelle + Les outils de santé à la disposition des consommateurs + Le design sensoriel y compris la métrologie sensorielle) + (MC – Matériaux pour systèmes adaptatifs + Surveillance intelligente de l'élaboration et de la mise en œuvre des matériaux + Evaluation non destructive de l'endommagement des matériaux et des assemblages) + (CIH – Les techniques de diagnostic et de réparation des structures) + (NTIC – Rétines de prise de vue) + (EE – La gestion de l'air dans les bâtiments)
36. **Carte mémoire**	(BSC- Les étiquettes, les identifiants intelligents – Objets communicants autonomes)
37. Cartographie	(TAE – Véhicule intelligent et communicant)
38. Catalyse	(MC – Catalyseurs)
39. **Cellules**	(IAA – Clonage des animaux + Greffe d'organe + Thérapie cellulaire+ Criblage de molécules actives + Organes bio-artificiels)
40. CEM (Compatibilité Electro Magnétique)	(Compatibilité Electro Magnétique) (TAE – Architecture électronique)
41. Céramiques	(MC – Matériaux pour procédés en milieux extrêmes)
42. Chirurgie	(IAA – Imagerie médicale)
43. Chocs	(MC – Matériaux absorbants)
44. Ciment	(EE – Conditionnement/entreposage et stockage des déchets nucléaires à vie radioactive longue)
45. Climatisation	(EE – La gestion de l'air dans les bâtiments)
46. **CO_2**	(EE – La gestion de l'air dans les bâtiments + Elimination des métaux lourds dans les boues et effluents) + (TAE – Pile à combustible)
47. Codage	(NTIC – Ingénierie linguistique et technologies vocales)
48. Combustion	(TAE – Moteurs thermiques)
49. **Commerce électronique**	(NTIC – Technologies de boucle locale + Intégration d'applications, langage XML, et autres langages évolués) + (BSC – Les méthodes de marketing liées à l'utilisation des TI)

	+ (CPG – Outils d'aide à la gestion de la relation client) + (NTIC – Réseau domestique numérique)
50. **Compatibilité**	(TAE – Architecture électrique) + (IAA – Organes bio-artificiels + Thérapie cellulaire) + (MC – Modélisation moléculaire des polymères)
51. Comportement	(BSC – Technologies favorisant la définition du profil des individus dans une optique de marketing stratégique)
52. **Composants**	(TAE – Architecture électrique) + (CIH – Réalité virtuelle augmentée pour la conception architectural et technique) + (NTIC – Composants optoélectroniques et phonotiques + Objets communicants et autonomes)
53. Composés	(MC - Procédés de mise en œuvre et de formulation de la matière molle)
54. Composés chimiques	(MC – Catalyseurs)
55. Composés organiques	(MC – Ingénierie des surfaces)
56. **Composites**	(MC – Matériaux absorbants + Matériaux pour procédés en milieux extrêmes + Elaboration de composites à matrice organique)
57. Compression	(NTIC – Rétines de prise de vue)
58. **Conception**	(CPG – Prototypage rapide + SLI + Multi représentation)
59. Conception intégrée	(MC – Logiciels et bases de données des propriétés des matériaux)
60. Conceptualisation	(CPG – Représentation de la perception..)
61. Conditionnement	(EE – Conditionnement/entreposage et stockage des déchets nucléaires à vie radioactive longue)
62. Conducteur/Opérateur	(TAE – Ergonomie de l'interface homme-machine)
63. **Confort**	(EE – La gestion de l'air dans les bâtiments) + (CIH – Conception et mise en œuvre des ouvrages dans une logique de développement durable)
64. Connexion	(NTIC – Intégration d'applications, langage XML, et autres langages évolués)
65. Consommation d'énergie	(EE – La gestion de l'air dans les bâtiments + Eclairage et visualisation à basse consommation)
66. Contraintes sanitaires	(EE- Fluides frigorigènes à haute qualité environnementale)
67. Coordination	(TAE – Amélioration des performances d'énergie d'ensemble)
68. **Corrosion**	(MC – Matériaux pour procédés en milieux extrêmes) + (CIH – Le béton à performances optimisées)
69. Couplage	(MC – Evaluation non destructive de l'endommagement des matériaux et des assemblages)
70. Cristallisation	(IAA – Ingénierie des protéines)
71. CRM ((Costumer Relation Management)	(Costumer Relation Management) (CPG – Outils d'aide à la gestion de la relation client)
72. Cultures cellulaires	(IAA – Greffe d'organe)
73. **Cycle de combustion**	(TAE – Amélioration des performances d'énergie d'ensemble + Moteurs thermiques)
74. Cycle de mise en œuvre	(MC – Surveillance intelligente de l'élaboration et de la mise en œuvre des matériaux)
75. Cycle de vie	(NTIC – Batteries et gestion d'énergie)
76. Data mining	(BSC – Technologies favorisant la définition du profil des individus dans une optique de marketing stratégique)
77. **Déchets**	(EE- Stabilisation en vue de stockage et de l'utilisation écocompatibles des déchets industriels et ménagers + Photovoltaïque + Conditionnement/entreposage et stockage des déchets nucléaires à vie radioactive longue + Technologie de la déconstruction) + (CIH – Les techniques des travaux

		souterrains)
78.	Défaillance	(TAE – Sûreté des systèmes)
79.	**Design**	(TAE – Ergonomie de l'interface homme-machine) + (EE – Réduction des bruits) + (BSC- Le design sensoriel y compris la métrologie sensorielle) + (NTIC – Synthèse d'image 2D/3D et de sons, animés)
80.	**Détection**	(TAE- Capteurs + Sûreté des systèmes) + (IAA – Détection et analyse des risques pour l'environnement liés aux OGM)
81.	**Diagnostic**	(IAA – Biopuces + Imagerie médicale) + (EE – Développement des techniques de diagnostic et de traitement des sols) + (BSC – Les outils de santé à la disposition des consommateurs)
82.	Disponibilité	(TAE – Sûreté des systèmes)
83.	Domotique	(NTIC – Ingénierie linguistique et technologies vocales)
84.	**Données**	(BSC – Les outils de santé à la disposition des consommateurs) + (NTIC – Composants optoélectroniques et phonotiques)
85.	Durabilité	(CIH – Le béton à performances optimisées)
86.	**Dysfonctionnement**	(TAE – Sûreté des systèmes) + (CPG – Télésurveillance de système productif à distance) + (BSC – Les outils de santé à la disposition des consommateurs) + (CIH – L'ingénierie concourante + Off shore grands fonds)
87.	Echantillon	(MC – Techniques de synthèse et de test haut débit)
88.	**Eclairage**	(EE – Eclairage et visualisation à basse consommation) + (CIH – Systèmes performants pour enveloppe de bâtiments)
89.	Ecocompatibilité	(EE- Stabilisation en vue de stockage et de l'utilisation écocompatibles des déchets industriels et ménagers)
90.	Economie d'énergie	(CIH – Conception et mise en œuvre des ouvrages dans une logique de développement durable)
91.	**Ecrans**	(TAE–Véhicule intelligent et communicant + Architecture électronique +Ergonomie de l'interface homme-machine) + (NTIC – Equipements et matériaux pour salles blanches, robotique + Assistants digitaux portables + Ecrans plats)
92.	Effet de serre	(EE – Piégeage et stockage du CO2 + Fluides frigorigènes à haute qualité environnementale)
93.	**Effluents**	(EE – Elimination des métaux lourds dans les boues et effluents) + (MC – Ingénierie des surfaces)
94.	Electrique	(TAE – Compatibilité électromagnétique) + (EE – Microturbine)
95.	Electrochimique	(EE – Stockage de l'énergie)
96.	Electrolyse	(TAE – Pile à combustible)
97.	**Electronique**	(TAE – Architecture électrique + Compatibilité électromagnétique) + (BSC – Les outils de santé à la disposition des consommateurs)
98.	Emballages	(EE- Recyclage de matériaux spécifiques)
99.	Embarqué	(TAE – Sûreté des systèmes)
100.	**Emissions**	(TAE – Amélioration des performances d'énergie d'ensemble + Moteurs thermiques)
101.	Energie	(EE – Microturbine)
102.	**Energies renouvelables**	(TAE – Pile à combustible) + (EE – Photovoltaïque + Eolien offshore)
103.	Enveloppe	(CIH – Systèmes performants pour enveloppe de bâtiments)
104.	**Equipements**	(EE – Réduction des bruits + Filtration membranaire)
105.	**Ergonomie**	(TAE – Véhicule intelligent et communicant) + (CIH – Off shore grands fonds) + (NTIC – Moteurs de recherche et d'indexation intelligents)
106.	Esthétique	(CIH – Systèmes performants pour enveloppe de bâtiments)

107.	Etiquetage	(IAA – Détection et analyse des risques pour l'environnement liés aux OGM)
108.	**Etiquette**	(NTIC – Objets communicants et autonomes) + (BSC- Les étiquettes, les identifiants intelligents – Objets communicants autonomes) + (NTIC – Ecrans plats)
109.	Evaluation	(IAA – Marquage métabolique)
110.	Fiabilisation	(EE – Supraconducteurs)
111.	**Fiabilité**	(TAE – Sûreté des systèmes) + (EE – Microturbine + Filtration membranaire) + (MC – Evaluation non destructive de l'endommagement des matériaux et des assemblages) + (NTIC – Mémoires de masse + Systèmes d'exploitation contraints + Mesures et tests de systèmes)
112.	**Fibres**	(MC – Fibres textiles fonctionnelles + Elaboration de composites à matrice organique)
113.	**Fidélisation**	(CPG – Outils d'aide à la gestion de la relation client) + (BSC – Technologies favorisant la définition du profil des individus dans une optique de marketing stratégique)
114.	**Filtration**	(EE – La gestion de l'air dans les bâtiments + Filtration membranaire)
115.	**Fluides**	(EE- Fluides frigorigènes à haute qualité environnementale) + (CIH – Le béton à performances optimisées)
116.	Fonderie	(CPG – Prototypage rapide)
117.	Fusion	(IAA – GMCAO)
118.	**Gaz**	(TAE – Amélioration des performances d'énergie d'ensemble) + (MC – Catalyseurs)
119.	**Gène**	(IAA – Transgénèse + Thérapie génique + Criblage de molécules actives + Ingénierie des protéines + Biopuces)
120.	**Génie génétique**	(IAA – Transgénèse + Détection et analyse des risques pour l'environnement liés aux OGM)
121.	Génie logiciel	(NTIC - Génie logiciel et modèles de composants logiciels, Agents)
122.	Génome	(IAA – Thérapie génique)
123.	Gestion d'énergie	(CIH – Systèmes performants pour enveloppe de bâtiments)
124.	GPS	(Global Positionning System) (TAE – Véhicule intelligent et communicant)
125.	**Greffes**	(IAA – Organes bio-artificiels + Greffe d'organe)
126.	Habitat	(EE – La gestion de l'air dans les bâtiments)
127.	Haptique	(TAE – Ergonomie de l'interface homme-machine)
128.	**Haut débit**	(IAA – Criblage de molécules actives) + (MC – Techniques de synthèse et de test haut débit) + (NTIC – Microélectronique III V + Infrastructures pour réseaux dorsaux haut débit + Réseau domestique numérique)
129.	Haute température	(MC – Matériaux pour procédés en milieux extrêmes)
130.	Hydrogène	(TAE – Pile à combustible)
131.	Identifiants intelligents	(BSC- Les étiquettes, les identifiants intelligents – Objets communicants autonomes)
132.	**Identification**	(NTIC – Objets communicants et autonomes + Sécurité, Cryptologie)
133.	**Image**	(CPG – Télésurveillance de système productif à distance) + (IAA – GMCAO) + (CIH – Off shore grands fonds) + (BSC – L'offre de produits et de services de grande consommation à base de réalité virtuelle) + (NTIC – Rétines de prise de vue + Synthèse d'image 2D/3D et de sons, animés + Ecrans plats + Infrastructures pour réseaux dorsaux haut débit + Réseaux de grands serveurs)

134.	**Information**	(CPG – Représentation et gestion des processus de l'usine numérique) + (IAA – GMCAO)
135.	**Informatique**	(CIH – Off shore grands fonds) + (NTIC – Microsystèmes + Qualité de service en IP)
136.	**Infrastructure**	(TAE – Véhicule intelligent et communicant + Sûreté des systèmes) + (EE – Réduction des bruits) + (CIH – Systèmes performants pour enveloppe de bâtiments + Les techniques des travaux souterrains) + (NTIC - Génie logiciel et modèles de composants logiciels, Agents + Infrastructures pour réseaux dorsaux haut débit + Technologies de boucle locale)
137.	**Ingénierie**	(MC – Ingénierie des surfaces) + CIH – L'ingénierie concourante) + (NTIC – Ingénierie linguistique et technologies vocales)
138.	Injection directe	(TAE – Moteurs thermiques)
139.	Instruments	(IAA – Miniaturisation des instruments de recherche médicale)
140.	**Intéraction**	(IAA – Technologies douces) + (BSC – Les méthodes de marketing liées à l'utilisation des NTIC + – L'offre de produits et de services de grande consommation à base de réalité virtuelle) + (MC – Modélisation moléculaire des polymères) + (NTIC – Objets communicants et autonomes + Systèmes d'exploitation contraints + Ingénierie linguistique et technologies vocales + Technologies de spécification, de conception, de preuve, d'optimisation et de simulation de grands systèmes complexes)
141.	**Interconnexion**	(NTIC – Réseau domestique numérique + Sécurité, Cryptologie)
142.	**Interfaces**	(TAE – Véhicule intelligent et communicant) + (CPG – Télésurveillance de système productif à distance + Représentation et gestion des processus de l'usine numérique) + (IAA – Criblage de molécules actives) + (BSC – Les méthodes de marketing liées à l'utilisation des NTIC + Les agents intelligents) + (NTIC – Intermédiation et intégration de services pour l'Internet du futur + Génie logiciel et modèles de composants logiciels, Agents + Equipements et matériaux pour salles blanches, robotique)
143.	**Interface homme/machine**	(CIH – Off shore grands fonds) + (NTIC – Ingénierie linguistique et technologies vocales + Transmission temps réel de contenus multimédia)
144.	Interférence	(TAE – Compatibilité électromagnétique)
145.	Intermédiaires	(NTIC – Intermédiation et intégration de services pour l'Internet du futur)
146.	**Internet**	(CPG – Outils d'aide à la gestion de la relation client) + (BSC – Les méthodes de marketing liées à l'utilisation des NTIC) + (NTIC – Ingénierie linguistique et technologies vocales + Technologies de boucle locale + Intermédiation et intégration de services pour l'Internet du futur + Réseaux de grands serveurs + Moteurs de recherche et d'indexation intelligents + Moteur de réalité virtuelle + Génie logiciel et modèles de composants logiciels, Agents)
147.	**Jeux vidéo**	(NTIC – Synthèse d'image 2D/3D et de sons, animés + Moteur de réalité virtuelle)
148.	**Langage**	(NTIC – Systèmes d'exploitation contraints + Ingénierie linguistique et technologies vocales + Intégration d'applications, langage XML, et autres langages évolués)
149.	Localisation	(TAE – Pile à combustible)

150.	**Logiciel**	(NTIC - Réseaux de grands serveurs + Système auteurs pour création de contenus multimédia + Microélectronique silicium + Synthèse d'image 2D/3D et de sons, animés + Intégration d'applications, langage XML, et autres langages évolués + Mesures et tests de systèmes) + (CPG – Outils d'aide à la gestion de la relation client + Supply Chain Management) + (MC – Logiciels et bases de données des propriétés des matériaux)
151.	**Logistique**	(CPG – Supply Chain Management + SLI)
152.	Lumière	(EE – Photovoltaï que)
153.	Machines	(CPG – Représentation et gestion des processus de l'usine numérique)
154.	**Maintenance**	(CIH – Les techniques de diagnostic et de réparation des structures + Conception et mise en œuvre des ouvrages dans une logique de développement durable + Off shore grands fonds)
155.	**Maîtrise**	(TAE – Amélioration des performances d'énergie d'ensemble) + (IAA – Traçabilité)
156.	Maladie	(IAA – Thérapie cellulaire)
157.	Maquette	(CPG – Prototypage rapide)
158.	Marketing	(BSC – Les méthodes de marketing liées à l'utilisation des NTIC)
159.	Marqueurs	(IAA – Traçabilité)
160.	Matière molle	(MC - Procédés de mise en œuvre et de formulation de la matière molle)
161.	**Médicaments**	(IAA – Clonage des animaux) + (MC – Techniques de synthèse et de test haut débit)
162.	Mélange	(CIH – Le béton à performances optimisées)
163.	Membranes	(EE – Filtration membranaire)
164.	Mémoires	(NTIC – Mémoires de masse)
165.	Mesure	(TAE- Capteurs)
166.	Métaux	(EE – Supraconducteurs)
167.	**Métaux lourds**	(EE – Elimination des métaux lourds dans les boues et effluents + – Développement des techniques de diagnostic et de traitement des sols)
168.	**Méthodes**	(IAA – Ingénierie des protéines + Miniaturisation des instruments de recherche médicale)
169.	**Métrologie**	(EE – La gestion de l'air dans les bâtiments + Détection et traitement des odeurs) + (BSC- Le design sensoriel y compris la métrologie sensorielle)
170.	Métrologie sensorielle	(CPG – Représentation de la perception..)
171.	**Microélectronique**	(NTIC – Microélectronique silicium + Microélectronique III V + Composants optoélectroniques et phonotiques + Equipements et matériaux pour salles blanches, robotique)
172.	Micros	(TAE – Architecture électronique)
173.	**Microsystèmes**	(IAA – Biopuces) + (EE – Outils de gestion et d'évaluation des risques environnementaux et sanitaires) + (NTIC – Microsystèmes + Composants optoélectroniques et phonotiques)
174.	Milieux extrêmes	(MC – Matériaux pour procédés en milieux extrêmes)
175.	Minéraux	(MC – Procédés biotechnologiques et biomimétriques de synthèse de minéraux et polymères)
176.	**Miniaturisation**	(IAA – Criblage de molécules actives) + (MC – Matériaux pour systèmes adaptatifs) + (NTIC – Composants optoélectroniques et phonotiques)

177.	Mode dégradé	(TAE – Sûreté des systèmes)
178.	Modèles	(IAA – Miniaturisation des instruments de recherche médicale)
179.	Modèles numériques	(CPG – Prototypage rapide)
180.	**Modélisation**	(CPG – Représentation de la perception..) + (MC – Modélisation moléculaire des polymères)
181.	**Modification**	(IAA – Détection et analyse des risques pour l'environnement liés aux OGM + Transgénèse)
182.	**Modules**	(TAE – Architecture électrique) + (NTIC – Composants optoélectroniques et phonotiques)
183.	**Molécule**	(IAA – Criblage de molécules actives) + (EE – Outils de gestion et d'évaluation des risques environnementaux et sanitaires)
184.	Moteurs	(TAE – Pile à combustible)
185.	**Multimédia**	(TAE – Architecture électronique) + (NTIC – Mémoires de masse + Ingénierie linguistique et technologies vocales + Infrastructures pour réseaux dorsaux haut débit + Technologies de boucle locale + Transmission temps réel de contenus multimédia + Système auteurs pour création de contenus multimédia)
186.	**Multiplexage**	(TAE – Architecture électronique) + (NTIC – Infrastructures pour réseaux dorsaux haut débit)
187.	Nanocomposites	(MC – Nanocomposites et renforts nanométriques)
188.	Navigateur	(NTIC – Intermédiation et intégration de services pour l'Internet du futur)
189.	**Nettoyage**	(EE – Filtration membranaire) + (MC – Ingénierie des surfaces)
190.	Normalisation	(CIH – L'ingénierie concourante)
191.	Normes	(TAE – Architecture électrique)
192.	Noyau	(IAA – Clonage des animaux)
193.	**Nucléaire**	(EE – Piégeage et stockage du CO2 + Conditionnement/entreposage et stockage des déchets nucléaires à vie radioactive longue)
194.	Nuisance	(EE – Réduction des bruits)
195.	**Numérique**	(CPG – Multi représentation) + (NTIC – Rétines de prise de vue)
196.	**Numérisation**	(CPG – Prototypage rapide + Représentation de la perception)
197.	Nutritionnelles	(IAA – Technologies douces)
198.	**Objets intelligents**	(NTIC – Batteries et gestion d'énergie + Objets communicants et autonomes + Assistants digitaux portables)
199.	Odeurs	(EE – Détection et traitement des odeurs)
200.	Off shore	(CIH – Off shore grands fonds)
201.	Opérateur	(CPG – Télésurveillance de système productif à distance)
202.	**Optimisation**	(TAE – Moteurs thermiques) + (IAA – Imagerie médicale + Traçabilité)
203.	Optique	(NTIC – Composants optoélectroniques et phonotiques)
204.	**Organe**	(IAA – Thérapie cellulaire) + (BSC- Les agents intelligents)
205.	Organisation	(CPG – Supply Chain Management)
206.	Organismes	(IAA – Détection et analyse des risques pour l'environnement liés aux OGM)
207.	Outillage	(CPG – Prototypage rapide)
208.	**Outils**	(CPG – Prototypage rapide) + (IAA – Ingénierie des protéines + GMCAO +Transgénèse) + (EE – Outils de gestion et d'évaluation des risques environnementaux et sanitaires)
209.	Ozone	(EE- Fluides frigorigènes à haute qualité environnementale)
210.	Parachimie	(MC – Techniques de synthèse et de test haut débit)
211.	Parasites	(TAE – Compatibilité électromagnétique)

212.	Partenaires	(CPG – Supply Chain Management)
213.	Pathologie	(IAA – Thérapie génique)
214.	**Perception**	(CPG – Multi représentation + Simulation,…) + (BSC- Le design sensoriel y compris la métrologie sensorielle)
215.	**Performances**	(NTIC – Microélectronique silicium + Composants optoélectroniques et phonotiques + Mesures et tests de systèmes)
216.	**Personnalisation**	(BSC – Les méthodes de marketing liées à l'utilisation des NTIC + Technologies favorisant la définition du profil des individus dans une optique de marketing stratégique) + (CIH – Réalité virtuelle augmentée pour la conception architectural et technique)
217.	Photovoltaïque	(EE – Photovoltaïque)
218.	**Pilotage**	(MC – Surveillance intelligente de l'élaboration et de la mise en œuvre des matériaux) + (NTIC – Technologies de spécification, de conception, de preuve, d'optimisation et de simulation de grands systèmes complexes + – Moteur de réalité virtuelle)
219.	Plastifiant	(CIH – Le béton à performances optimisées)
220.	Plasturgie	(MC – Alliages de polymères)
221.	**Pollution**	(EE – Elimination des métaux lourds dans les boues et effluents + Développement des techniques de diagnostic et de traitement des sols + Détection et traitement des odeurs) + (NTIC – Composants optoélectroniques et phonotiques)
222.	**Polymères**	(MC – Elaboration de composites à matrice organique + Fibres textiles fonctionnelles + Catalyseurs + Procédés biotechnologiques et biomimétriques de synthèse de minéraux et polymères + Modélisation moléculaire des polymères) + (IAA – Organes bio-artificiels) + (NTIC – Composants optoélectroniques et phonotiques + Ecrans plats)
223.	Portabilité	(NTIC – Systèmes d'exploitation contraints)
224.	**Portail**	(NTIC - Réseaux de grands serveurs + Moteurs de recherche et d'indexation intelligents)
225.	Positionnement	(TAE – Véhicule intelligent et communicant)
226.	Postes de travail	(TAE – Ergonomie de l'interface homme-machine)
227.	Préservation	(IAA – Technologies douces)
228.	Prévention	(IAA – Marquage métabolique)
229.	**Procédés**	(CPG – Représentation et gestion des processus de l'usine numérique) + (IAA – Technologies douces)
230.	Process	(EE – Photovoltaïque)
231.	**Processus**	(CPG – Supply Chain Management + Représentation et gestion des processus de l'usine numérique)
232.	Progiciels	(CPG – Supply Chain Management)
233.	Protection	(TAE – Compatibilité électromagnétique)
234.	**Protéines**	(IAA – Transgénèse + – Criblage de molécules actives)
235.	Prototypage	(NTIC – Système auteurs pour création de contenus multimédia)
236.	**Puce**	(IAA – Biopuces) + (BSC- Les étiquettes, les identifiants intelligents – Objets communicants autonomes) + (NTIC – Rétines de prise de vue + Objets communicants et autonomes + Microélectronique silicium + Ecrans plats + Batteries et gestion d'énergie)
237.	**Qualité**	(IAA – Traçabilité) + (EE – Outils de gestion et d'évaluation des risques environnementaux et sanitaires) + (BSC- Le design sensoriel y compris la métrologie sensorielle) + (MC – Surveillance intelligente de l'élaboration et de la mise en œuvre

		des matériaux) + (CIH – L'ingénierie concourante) + (NTIC – Microsystèmes + Qualité de service en IP)
238.	Qualité de l'air	(EE – La gestion de l'air dans les bâtiments)
239.	Radioactivité	(EE – Conditionnement/entreposage et stockage des déchets nucléaires à vie radioactive longue)
240.	**Réalité virtuelle**	(BSC – L'offre de produits et de services de grande consommation à base de réalité virtuelle) + (CIH – Réalité virtuelle augmentée pour la conception architectural et technique)
241.	Reconnaissance	(BSC- Les étiquettes, les identifiants intelligents – Objets communicants autonomes)
242.	**Reconnaissance de formes**	(NTIC – Moteurs de recherche et d'indexation intelligents) + (BSC – Technologies favorisant la définition du profil des individus dans une optique de marketing stratégique)
243.	**Recyclage**	(EE – Stockage de l'énergie + Recyclage de matériaux spécifiques + Technologie de la déconstruction) + (MC – Fibres textiles fnctionnelles + Alliages de polymères) + (CIH – Conception et mise en œuvre des ouvrages dans une logique de développement durable)
244.	**Rejet**	(EE – Elimination des métaux lourds dans les boues et effluents) + (IAA – Greffe d'organe)
245.	Relation client	(BSC – Technologies favorisant la définition du profil des individus dans une optique de marketing stratégique)
246.	**Rendement**	(TAE – Pile à combustible + Amélioration des performances d'énergie d'ensemble + Moteurs thermiques)
247.	Renfort	(MC – Elaboration de composites à matrice organique)
248.	Repérage	(IAA – Criblage de molécules actives)
249.	Reproduction	(IAA – Clonage des animaux)
250.	**Réseaux**	(CPG – Outils d'aide à la gestion de la relation client) + (EE – Microturbine) + (BSC – Les méthodes de marketing liées à l'utilisation des NTIC + Les outils de santé à la disposition des consommateurs) + (NTIC – Ingénierie linguistique et technologies vocales + Technologies de boucle locale + Sécurité, Cryptologie + Mesures et tests de systèmes + Intégration d'applications, langage XML, et autres langages évolués)
251.	Résistivité électrique	(EE – Supraconducteurs)
252.	Résolution	(CPG – Multi représentation)
253.	Revêtements	(MC – Ingénierie des surfaces)
254.	**Risques**	(IAA – Détection et analyse des risques pour l'environnement liés aux OGM + GMCAO+ Traçabilité) + (EE – Développement des techniques de diagnostic et de traitement des sols + Outils de gestion et d'évaluation des risques environnementaux et sanitaires) + (BSC – Technologies favorisant la définition du profil des individus dans une optique de marketing stratégique) + (NTIC – Sécurité, Cryptologie)
255.	Robotique	(NTIC – Equipements et matériaux pour salles blanches, robotique)
256.	Robustesse	(NTIC – Systèmes d'exploitation contraints)
257.	Routage	(NTIC – Infrastructures pour réseaux dorsaux haut débit)
258.	Sauvegarde	(NTIC – Mémoires de masse)
259.	Scénarisation	(NTIC – Système auteurs pour création de contenus multimédia)
260.	**Sécurité**	(TAE – Sûreté des systèmes + Architecture électronique) + (IAA – Greffe d'organe + GMCAO + Traçabilité + Marquage

		métabolique + Technologies douces) + (MC – Matériaux absorbants) + (CIH – Systèmes performants pour enveloppe de bâtiments + Conception et mise en œuvre des ouvrages dans une logique de développement durable) + (NTIC – Composants optoélectroniques et phonotiques + Qualité de service en IP + Réseau domestique numérique + Sécurité, Cryptologie)
261.	Sélection	(IAA – GMCAO)
262.	**Sens**	(TAE – Ergonomie de l'interface homme-machine) + (BSC- Le design sensoriel y compris la métrologie sensorielle)
263.	Séquençage	(IAA – Biopuces)
264.	**Service**	(CPG – SLI + Outils d'aide à la gestion de la relation client)
265.	**Silicium**	(EE – Photovoltaïque) + (NTIC – Microélectronique silicium + Microélectronique III V + Ecrans plats)
266.	**Simulation**	(NTIC – Synthèse d'image 2D/3D et de sons, animés + Moteur de réalité virtuelle + Technologies de spécification, de conception, de preuve, d'optimisation et de simulation de grands systèmes complexes)
267.	Simultanéité	(NTIC – Systèmes d'exploitation contraints)
268.	**Sols**	(EE – Elimination des métaux lourds dans les boues et effluents + Développement des techniques de diagnostic et de traitement des sols) + (CIH – Les techniques des travaux souterrains)
269.	Son	(NTIC – Synthèse d'image 2D/3D et de sons, animés)
270.	Sondage	(CIH – Les techniques de diagnostic et de réparation des structures
271.	Sondes	(NTIC – Mesures et tests de systèmes)
272.	**Sources d'énergie**	(EE – Piégeage et stockage du CO2 + Eolien offshore)+ (MC – Matériaux pour systèmes adaptatifs) + (NTIC – Batteries et gestion d'énergie)
273.	**Stabilisation**	(CIH – Les techniques des travaux souterrains) + (EE- Stabilisation en vue de stockage et de l'utilisation écocompatibles des déchets industriels et ménagers)
274.	Stationnaire	(TAE – Pile à combustible)
275.	**Stockage**	(TAE – Pile à combustible) + (EE – Supraconducteurs + Stockage de l'énergie + Piégeage et stockage du CO2 + Stabilisation en vue de stockage et de l'utilisation écocompatibles des déchets industriels et ménagers) + (CIH – Les techniques des travaux souterrains) + (NTIC – Mémoires de masse)
276.	Stratégie	(IAA – GMCAO)
277.	Structure moléculaire	(MC – Modélisation moléculaire des polymères)
278.	**Structures**	(IAA – Ingénierie des protéines) + (CIH – Les techniques de diagnostic et de réparation des structures)
279.	**Sûreté**	(CPG – Télésurveillance de système productif à distance) + (TAE - Sûreté des systèmes) + (MC – Evaluation non destructive de l'endommagement des matériaux et des assemblages)
280.	**Surface**	(CIH – Les techniques des travaux souterrains + Off shore grands fonds) + (MC – Ingénierie des surfaces)
281.	**Surveillance**	(TAE- Capteurs) + (EE – Outils de gestion et d'évaluation des risques environnementaux et sanitaires) + (MC – Surveillance intelligente de l'élaboration et de la mise en œuvre des matériaux + Evaluation non destructive de l'endommagement des matériaux et des assemblages) + (NTIC – Rétines de prise de vue + Réseau domestique numérique)

282.	Synchronisation	(NTIC – Système auteurs pour création de contenus multimédia)
283.	Synthèse	(IAA – Criblage de molécules actives)
284.	Synthèse de l'information	(BSC – Technologies favorisant la définition du profil des individus dans une optique de marketing stratégique)
285.	Système d'exploitation	(NTIC – Intégration d'applications, langage XML, et autres langages évolués)
286.	**Systèmes**	(IAA – Greffe d'organe) + (TAE – Architecture électronique) + (EE – Microturbine + Stockage de l'énergie) + (BSC- Les agents intelligents) + (NTIC – Technologies de spécification, de conception, de preuve, d'optimisation et de simulation de grands systèmes complexes + Mesures et tests de systèmes)
287.	Systèmes auteurs	(NTIC – Système auteurs pour création de contenus multimédia)
288.	Systèmes de communication	(CIH – Réalité virtuelle augmentée pour la conception architectural et technique)
289.	Systèmes embarqués	(NTIC – Systèmes d'exploitation contraints)
290.	**Systèmes experts**	(BSC- Le design sensoriel y compris la métrologie sensorielle) + (MC – Logiciels et bases de données des propriétés des matériaux)
291.	Systèmes intelligents	(MC – Matériaux pour systèmes adaptatifs)
292.	**Télécommunication**	(CIH – Systèmes performants pour enveloppe de bâtiments) + (NTIC – Microsystèmes + Qualité de service en IP)
293.	Temps réel	(CIH – Les techniques de diagnostic et de réparation des structures) + (NTIC - Réseaux de grands serveurs + Transmission temps réel de contenus multimédia + Systèmes d'exploitation contraints)
294.	**Terminaux**	(NTIC – Transmission temps réel de contenus multimédia + Moteurs de recherche et d'indexation intelligents)
295.	Tests	(CPG – Prototypage rapide)
296.	Thérapie cellulaire	(IAA – Organes bio-artificiels)
297.	Tissus	(MC – Fibres textiles fnctionnelles)
298.	Toucher/sens/odorat..	(CPG – Représentation de la perception..) + (TAE – Ergonomie de l'interface homme-machine)
299.	Toxique	(EE- Recyclage de matériaux spécifiques)
300.	**Traçabilité**	(IAA – Détection et analyse des risques pour l'environnement liés aux OGM) + (BSC- Les étiquettes, les identifiants intelligents – Objets communicants autonomes)
301.	**Traitement**	(EE- Recyclage de matériaux spécifiques) + (IAA – Imagerie médicale)
302.	Traitement de l'information	(TAE- Capteurs)
303.	Transmission	(NTIC – Composants optoélectroniques et phonotiques)
304.	**Transport**	(EE – Supraconducteurs + Réduction des bruits) + (CIH – Les techniques des travaux souterrains)
305.	**Tri**	(EE- Technologie de la déconstruction) + (BSC – Technologies favorisant la définition du profil des individus dans une optique de marketing stratégique)
306.	Variabilité	(IAA – Transgénèse)
307.	Variété	(NTIC – Mesures et tests de systèmes)
308.	Verre	(EE – Conditionnement/entreposage et stockage des déchets nucléaires à vie radioactive longue)
309.	Vibrations	(EE – Réduction des bruits)
310.	**Vidéo**	(NTIC – Technologies de boucle locale + Réseaux de grands serveurs + Transmission temps réel de contenus multimédia)
311.	Virtualité	(NTIC – Synthèse d'image 2D/3D et de sons, animés)

312.	Visibilité	(BSC – Les méthodes de marketing liées à l'utilisation des NTIC)
313.	Vision	(CPG – Télésurveillance de système productif à distance)
314.	**Visualisation**	(TAE – Véhicule intelligent et communicant) + (IAA – GMCAO) + (EE – Eclairage et visualisation à basse consommation) + (BSC – L'offre de produits et de services de grande consommation à base de réalité virtuelle) + (NTIC – Ecrans plats)
315.	Voix	(NTIC – Infrastructures pour réseaux dorsaux haut débit)
316.	Voltage	(TAE – Architecture électrique)

Légende :
Apparaissent en gras les items communs à plusieurs fiches de technologies clés